



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES



**DETERMINACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS
PRODUCIDOS POR MOTORES DIESEL UTILIZANDO
BIODIESEL OBTENIDO DE ACEITE DE COCINA
RECICLADO GENERADO POR LAS
POLLERÍAS DE
MOYOBAMBA,
2011**

Para Obtener el Título de Ingeniería Ambiental

**Autores: DEL CASTILLO MACEDO, Christian
VALLES PINEDO, Tatiana Milagros**

Asesor: Blgo MS.c. ASTRIHT RUIZ RIOS

Ciudad: Moyobamba-San Martin

Código N° 06050611



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental

ACTA DE SUSTENTACION PARA OBTENER EL TITULO

PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-T sede Moyobamba y siendo las **once de la mañana del día lunes 17 de Diciembre del Dos Mil Doce**, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

Ing. M.Sc. MIRTHA FELICITA VALVERDE VERA
Lic. M.Sc. FABIAN CENTURION TAPIA
Ing. GERARDO CACERES BARDALEZ

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO

Blgo. M.Sc. ASTRIHT RUIZ RIOS

ASESOR

Para evaluar la Sustentación de la Tesis Titulado "DETERMINACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS PRODUCIDOS POR MOTORES DIESEL UTILIZANDO BIODIESEL OBTENIDO DE ACEITE DE COCINA REICLADO GENERADO POR LAS POLLERIAS DE MOYOBAMBA 2011", presentado por los Bachilleres en Ingeniería Ambiental CHRISTIAN DEL CASTILLO MACEDO y TATIANA MILAGROS VALLES PINEDO ; según Resolución N° 0158-2011-UNSM-T/COFE-MOY de fecha 19 de Octubre del 2011.

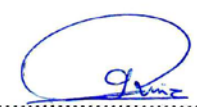
Los señores miembros del Jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran : APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo de : BUENO y nota CATORCE (14).

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las 13:00 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.


Ing. M.Sc. MIRTHA F. VALVERDE VERA
Presidente


Lic. M.Sc. FABIAN CENTURION TAPIA
Secretario


Ing. GERARDO CACERES BARDALEZ
Miembro


Blgo. M.Sc. ASTRIHT RUIZ RIOS
Asesor

DEDICATORIA

A Dios.

Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres.

Porque creyeron en nosotros y porque nos sacaron adelante, dándonos ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy podemos ver alcanzada nuestras metas, ya que siempre estuvieron impulsándonos en los momentos más difíciles de nuestra carrera, y porque el orgullo que sienten por nosotros, fue lo que nos hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de nosotros.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

A todos, esperamos no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

Del Castillo Macedo Christian

Valles Pinedo Tatiana Milagros

AGRADECIMIENTO

A nuestras familias por el apoyo incondicional que me brindaron, Al Ing. Richer Garay responsable del proyecto de biocombustibles del Instituto Nacional de Investigación Amazónica (INIA), el cual nos brindó valiosa información sobre la elaboración del biodiesel, así como a nuestra Asesora de Tesis Astriht Ruiz Rios Por su apoyo en la asesoría de esta tesis para que pueda ser posible.

Del Castillo Macedo Christian
Valles Pinedo Tatiana Milagros

INDICE

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTO | ii |
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT | vii |
| CAPITULO I: El problema de la investigación | 1 |
| 1.1 El Planeamiento del Problema | 1 |
| 1.2 Objetivos | 1 |
| 1.3 Fundamento Teórico | 2 |
| 1.3.1 Antecedentes de la Investigación | 2 |
| 1.3.2 Bases teóricas | 3 |
| 1.3.3 Definición de términos | 27 |
| 1.4 Variables | 28 |
| 1.5 Hipótesis | 28 |
| CAPITULO II: Marco Metodológico | 28 |
| 2.1 Tipo de investigación | 29 |
| 2.2 Diseño de la investigación | 29 |
| 2.3 Población y Muestra | 30 |
| 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 30 |
| 2.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos | 30 |
| CAPITULO III: Resultados | 32 |
| 3.1 Resultados | 32 |
| 3.2 Discusiones | 53 |
| 3.3 Conclusiones | 60 |
| 3.4 Recomendaciones | 62 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 63 |

ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 01: Proceso De Elaboración De Biodiesel | 67 |
| Anexo 02: Tendencia del CO en el primer y segundo nivel de aceleración del B5 | 69 |
| Anexo 03: Tendencia del CO en el primer y segundo nivel de aceleración del B25 | 69 |
| Anexo 04: Tendencia del CO en el primer y segundo nivel de aceleración del B50 | 70 |
| Anexo 05: Tendencia del CO en el primer y segundo nivel de aceleración del B100 | 70 |
| Anexo 06: Tendencia del SO ₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B5 | 71 |
| Anexo 07: Tendencia del SO ₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B25 | 71 |
| Anexo 08: Tendencia del SO ₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B50 | 72 |
| Anexo 09: Tendencia del SO ₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B100 | 72 |
| Anexo 10: Tendencia del NO ₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B5. | 73 |
| Anexo 11: Tendencia del NO ₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B25 | 73 |
| Anexo 12: Tendencia del NO ₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B50 | 74 |
| Anexo 13: Tendencia del NO ₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B100 | 74 |
| Anexo 14: Cuadro de Resumen | 75 |
| Anexo 15: Encuentas | 76 |
| Anexo 16: Panel Fotográfico | 78 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 01: Resultados de CO | 35 |
| Tabla 02: Resultados promedios de CO | 36 |
| Tabla 03: Comparativo Del CO En % | 37 |
| Tabla 04. Resultados de SO ₂ | 40 |
| Tabla 05: Resultados promedios de SO ₂ | 41 |
| Tabla 06: Comparativo Del So ₂ En % | 42 |
| Tabla 07: Resultados de NO ₂ | 45 |

| | |
|---|----|
| Tabla 08: Resultados promedios de NO ₂ | 46 |
| Tabla 09: Comparativo Del NO ₂ En % | 47 |
| Tabla 10: Resultados de Consumo | 50 |
| Tabla 11: Resultados promedios de Consumo | 51 |
| Tabla 12: Resultados de Consumo totales | 52 |

CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro N° 01: Modelo del diseño, Moyobamba 2012 | 29 |
| Cuadro N°02: Cuadro de costos de elaboración de Biodiesel, Moyobamba 2012 | 32 |

GRAFICOS

| | |
|--|----|
| Grafico 01: Comparación de Costos de biodiesel Vs Diésel, Moyobamba-2012 | 33 |
| Gráfico N°02: Resultados al 25% de NO ₂ | 54 |
| Gráfico N°03: Resultados al 50% de NO ₂ | 55 |
| Gráfico N°04: Resultados al 100% de NO ₂ | 56 |
| Grafico N° 05: Resultados al 25% de CO | 57 |
| Grafico N° 06: Resultados al 50% de CO | 58 |
| Grafico N° 07: Resultados al 100% de CO | 59 |

RESUMEN

La contaminación atmosférica cada vez es mayor, siendo el principal contribuyente el parque automotor, es por ello que nace la necesidad de buscar alternativas viables de solución que sustituya en parte el uso de combustibles fósiles para la combustión de motores.

Por tal motivo el presente informe de tesis esta dedicado a la determinación de contaminantes atmosféricos producidos por los motores diesel utilizando biodiesel, siendo los gases a analizar el CO (Monóxido de carbono), SO₂ (Dióxido de azufre) y NO₂ (Dióxido de nitrógeno), ya que estos son los principales contaminantes de la atmosfera exceptuando el CO₂ (Dióxido de carbono), para lo cual se utilizaron equipos de medición específicos para cada gas, los cuales fueron proporcionados por UNSM-T.

Las mediciones se realizaron en dos niveles de aceleración, las cuales fueron tomadas cada 15 minutos de funcionamiento en una hora, en diferentes concentraciones de biodiesel (B-25, B-50, B-100), los cuales fueron comparados con el Diesel (B-5).

También se tomo en cuenta la viabilidad económica del biodiesel, por lo cual se obtuvo la rentabilidad y rendimiento del uso en motores con biodiesel. El cual se pudo concluir que el uso del biodiesel es rentable económicamente, por que los residuos tales como la glicerina puede ser utilizado para la industria y esto tiene un valor económico. El rendimiento fue de 96.16% de Biodiesel, obteniendo un rendimiento alto.

La finalidad es conocer cuales son las diferencias comparativas de las emisiones, rentabilidad y rendimiento entre el biodiesel y el diesel convencional que normalmente se utiliza en los automóviles, en el cual se concluyó que con el uso del biodiesel se reduce considerablemente las emisiones de CO y SO₂, y la emisión del NO₂ aumenta, pero con el uso del Diesel este gas disminuye, con los resultados obtenidos se brindara conclusiones y recomendaciones referentes al uso del biodiesel a diferentes concentraciones (B25, B50 y B100) para que así los impactos producidos por el parque automotor se vean mermados con dicho uso.

ABSTRACT

Air pollution is becoming greater and greater, being the main contributor the self-propelled park, which is why it is born the need to find viable alternatives for solution to replace in part the use of fossil fuels for combustion engines.

For such a motive the formless present of thesis is dedicated to the determination of atmospheric pollutants produced by the diesel engines using biodiesel, being the gases when analyzing CO (Carbon monoxide), SO₂ (sulphur Dioxide) and NO₂ (Dioxide of nitrogen), since these are the principal pollutants of the atmosphere exempting the CO₂ (Carbon dioxide), for which specific equipment of measurement were in use for every gas, which were provided by UNSM-T.

For that reason, the present thesis report is dedicated to the determination of atmospheric pollutants produced by diesel engines using biodiesel, being the gases to analyze the CO (carbon monoxide), SO₂ (sulfur dioxide) and NO₂ (nitrogen dioxide), since these are the main pollutants in the atmosphere except for the CO₂ (carbon dioxide), which were used for measuring equipment specific to each gas, which were provided by, UNSMS -T.

The measurements were realized in two levels of acceleration, which were taken every 15 minutes of functioning in an hour, in different concentrations of biodiesel (B-25, B-50, B-100), which were compared with the Diesel (B-5).

It also took into account the economic viability of biodiesel, for which it was obtained the profitability and performance of the engines in use with biodiesel. Which it was concluded that the use of biodiesel is economically profitable, because the residue such as glycerin can be used for industry and this has an economic value. The performance was 96.16 % Biodiesel, obtaining a high performance.

The purpose of the course is to understand what are the comparative differences in emissions, profitability and performance between biodiesel and conventional diesel that is typically used in cars,

The purpose is know which are the comparative differences of the emission, profitability and performance between biodiesel and conventional diesel that is typically used in cars, in which it was concluded that the use of biodiesel is significantly reduces the emissions of CO and SO₂, and the issuance of NO₂ increases, but with the use of this Diesel gas

decreases, with the results obtained provide conclusions and recommendations regarding the use of biodiesel at different concentrations (B25, B50 and B100) so that the impacts produced by the fleet are diminished with such use.

Key words: Air pollution, biodiesel.

CAPITULO I: El problema de investigación

1.1 Planteamiento del problema

¿Cómo influye el biodiesel obtenido de aceite reciclado de cocina de la pollerías en la contaminación atmosférica?

1.2 Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las emisiones contaminantes a la atmosfera producidas por motores diésel utilizando biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado generados por las pollerías en la ciudad de Moyobamba

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la rentabilidad del uso de biodiesel producido a partir de aceites de cocina reciclado.
- Determinar la relación existente entre la cantidad de aceite reciclado y la cantidad de biodiesel producido.
- Determinar la concentración de contaminantes emitidos por el motor diésel usando diferentes concentraciones de biodiesel combinados con diésel convencional.
- Determinar las diferencias comparativas en emisiones contaminantes que existe entre un motor que funciona con el diésel convencional con otro que funciona con biodiesel.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Antecedentes de la investigación

Existen investigaciones Peruanas para el desarrollo de etanol; sin embargo, para el caso del biodiesel, no existen estudios de mercado que permitan determinar los costos de producción y tampoco existe información acerca de la calidad y rendimiento que se pueda obtener con los cultivos oleaginosos mencionados.

Existen investigaciones respecto a la elaboración del biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado.

- **Barriga Moreno, Eduardo Antonio;** (2011). “Diseño de módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

RESUMEN:

El propósito de esta tesis es el diseño del módulo de transesterificación de una planta piloto de producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina, que debe servir para hacer investigaciones y generar una base de conocimientos que permita aumentar la eficiencia de los procesos productivos, disminuir los costos de producción y cumplir con las normativas actuales de calidad.

- **Espinoza Toledo, Diana; Rojas Amon, Diana,** (2009). “Obtención de biodiesel a partir de los desechos de aceites vegetales usados en las pollerías de la ciudad de Cuenca”. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

RESUMEN:

Los biocombustibles líquidos, denominados también biocarburantes, son productos que se utilizan como sustitutos de la gasolina y del gasóleo de vehículos y que son obtenidos a partir de materias primas de origen agrícola. Biodiesel (denominado biogasóleo o diéster).- constituye un grupo de biocarburantes que se obtienen a partir de aceites vegetales. Los biodiesel son metilésteres de los aceites vegetales obtenidos por reacción de los mismos con metanol, mediante reacción de transesterificación, que produce glicerina como producto secundario. Los

metilésteres de los aceites vegetales poseen muchas características físicas y fisicoquímicas muy parecidas al gasóleo con el que pueden mezclarse en cualquier proporción y utilizarse en los vehículos diésel convencionales sin necesidad de introducir modificaciones en el diseño básico del motor.

1.3.2 Bases teóricas

En la actualidad el ser humano depende en un cien por ciento de los combustibles fósiles (gas, carbón, petróleo) , y eso trae consecuencias desastrosas, ya que con la utilización de estos combustibles se emiten sustancias toxicas a la atmosfera, calentándola, provocando así un daño casi irreversible en el delicado equilibrio de la vida. El mundo como hoy lo conocemos existe gracias al petróleo, pero la dependencia a este también ha traído excesivas acumulaciones de gases como el CO_2 , CO , CH_4 , NO_x , SO_x en la atmosfera causando el llamado calentamiento global trayendo con ello problemas como el cambio climático, escases de agua, pérdida de biodiversidad, problemas de salud, entre otros. (*Ayn Rand, 2006*).

La causa principal de los problemas ambientales por el cual atraviesa nuestro planeta es causado casi en su totalidad por el uso irracional de los combustibles fósiles, si bien es cierto ha traído muchos avances en diferentes campos como la medicina, la tecnología, el transporte y muchos más que han beneficiado enormemente a nuestra generación, pero el uso excesivo, irracional y desmedido de este recurso también a traído, hambruna, pobreza, desequilibrio ambiental y social provocando que la vida en la tierra se extinga poco a poco dejando como legado a las futuras generación no los increíbles hallazgos y creaciones que se hicieron si no una era desastrosa, con catástrofes ambientales, muerte por la enfermedades que en nuestra época se curaban fácilmente, un planeta con suelos, aguas y aire totalmente contaminados (*Al Gore, 2006*).

Kenneth Wark y Cecil Warner definen a la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades. En el siguiente cuadro se muestran los principales tipos de contaminantes atmosféricos, características principales y sus fuentes de generación:

| contaminante | Características principales | Fuentes |
|--|---|---|
| Monóxido de Carbono (CO) | El Monóxido de Carbono es un gas toxico inflamable, incoloro e insípido. Su combinación con el oxígeno atmosférico genera el dióxido de Carbono lo que da lugar al efecto invernadero. | Gases de escape de los vehículos de motor y algunos procesos industriales. |
| Dióxido de Azufre (SO ₂) | El dióxido de Azufre es un gas incoloro y no inflamable. Se combina fácilmente en la atmosfera con el vapor del agua convirtiéndose en ácido sulfúrico y es, junto con el ácido nítrico, uno de los causantes de la lluvia acida. | Instalaciones generadoras de calor y electricidad que utilizan petróleo o carbón con contenido sulfuroso; plantas de ácido sulfúrico |
| Partículas en suspensión | Son las partículas en suspensión menores de 10 micras las únicas capaces de llegar a los alvéolos y pueden causar, por ello, problemas respiratorios. | Gases de escape de vehículos de motor; procesos industriales; incineración de residuos; generación de calor y electricidad; reacción de gases contaminantes en la atmósfera |
| Plomo (Pb) | Metal pesado no ferroso que se presenta principalmente como aerosol o polvo | Gases de escape de vehículos de motor, fundiciones de plomo; fábricas de baterías |
| Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂) | El óxido de nitrógeno (NO) es un gas tóxico, inodoro e incoloro pero no inflamable. El óxido nítrico se combina en la atmósfera con el vapor de agua, dando lugar al ácido nítrico, otro de los causantes de la lluvia ácida. El dióxido de nitrógeno (NO ₂) es un gas fuertemente tóxico de color pardo rojizo. Al igual que el óxido de nitrógeno se combina con el vapor de agua dando lugar a la lluvia ácida | Gases de escape de vehículos de motor; generación de calor y electricidad; ácido nítrico; explosivos; fábricas de fertilizantes. |
| Oxidantes fotoquímicos (fundamentalmente ozono [O ₃]; también nitrato peroxiacetílico [PAN] y aldehídos) | El ozono troposférico es un gas incoloro y de olor agradable, muy oxidante e irritante. Es un contaminante secundario que tiene un origen fotoquímico, es decir, que se forma por la acción de la luz solar en presencia de óxidos | Se forman en la atmósfera como reacción a los óxidos de nitrógenos, hidrocarburos y luz solar |

Fuente: Wark, Kenneth & Cecil F. Warner. (1994)

La contaminación atmosférica se ha definido como la acumulación en el aire de sustancias en concentraciones tales que provoquen daños provisionales o permanentes a los hombres, los animales, las plantas y los bienes. La concentración la cual una

sustancia provoca contaminación varía mucho, según la sustancia de que se trate: unas pocas milmillonésimas de gramo (nanogramos) de benzopireno, por metro cubico.

Sin embargo, si nos fijamos en la cantidad global de todos los contaminantes que se emiten, vemos que son cinco de ellos los que por si solos aportan más del 95% del total. Estos contaminantes son: el monóxido de carbono (CO), el bióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos y el material particulado. De estas, las tres primeras son sustancias químicas que poseen una composición definida; los hidrocarburos son una clase de sustancias; y finalmente, bajo el nombre de material particulado figuran los aerosoles líquidos o solidos que se encuentran en suspensión en el aire. (*maurizio Caselli, 2000*)

La disminución de las reservas de petróleo y los diferentes problemas ambientales generados por los combustibles fósiles, entre otras causas, ha generado la búsqueda de nuevas fuentes de energía; destacándose el biodiesel, que es una mezcla de ésteres alquílicos, producido a través de una reacción de transesterificación, entre un aceite vegetal o grasa animal y un alcohol de cadena corta para producir los esteres respectivos y el subproducto *glicerol* (*Helwani et al., 2009; Leuny, 2010*). Actualmente se está produciendo el biodiesel a partir de diversas materias primas como soya, girasol, palma y jatropha, entre otras, las cuales son también utilizadas industrialmente para la extracción y comercialización de aceites comestibles, representando un gran limitante para la producción de este combustible. En razón a lo anterior, las investigaciones están siendo dirigidas hacia la búsqueda de materias primas alternativas que produzcan un combustible eficiente, sin afectar la alimentación y que sea económicamente viable. Una alternativa la constituye los residuos de aceite de cocina usado en frituras, por cuanto ellos han demostrado ser una fuente económica viable para la producción de biodiesel, en virtud a su alta disponibilidad y bajo costo, además su reciclaje y reutilización como forma de energía renovable, disminuye el poder contaminante de estos residuos al ser vertidos en los fregaderos. (*Wang et al., 2007; Demirbas, 2009*).

El biodiesel es considerado como el mejor sustituto del diésel y puede ser utilizado puro o en mezclas biodiesel /diésel, presentando ventajas ambientales, económicas, sociales y técnicas (*Guarieiro et al., 2008*) Entre las normas más utilizadas que rigen la calidad del biodiesel se encuentran la ASTM D 975 (American Society of Testing and Materials) y EN 590 (Norma Europea), donde establecen valores límite permitidos para cada parámetro fisicoquímico, que predicen la eficiencia del combustible en el motor

(EN-590:2004; ASTM D 975: 2006). Además de los procedimientos experimentales; también se pueden determinar simultáneamente algunos parámetros de calidad de mezclas biodiesel/diésel a través de la técnica del Infrarrojo aplicando regresiones de mínimos cuadrados parciales, como gravedad específica, punto de inflamación y contenido de sulfuro (*Flores et al., 2011*).

Normas para el biodiesel como Combustible

| PROPIEDAD | UNIDAD | ASTM D975- 97 Diésel | ASTM D6751 Biodiesel | ISO Biodiesel |
|---------------------------------|------------|----------------------------|-------------------------|------------------|
| Punto de Inflamación | °C | 38 | 130 min | >101 |
| Viscosidad cinemática (40°C) | Mm2/seg. | 1.3 a 2.4 | 1.9 a 6.0 | 3.5 a 6.0 |
| Agua y sedimento | % vol | 0.05 | 0.05 | 500 mg/Kg |
| Cenizas Sulfatadas | % p/p | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| Azufre máx. | % p/p | 0.5 | 0.05 | 10 mg/Kg |
| Índice de Cetano min. | | 40 | | 51 |
| Numero de Cetano min. | | 40 | 40 | |
| Punto Nube | | A reportar | A reportar | A reportar |
| Residuo de carbón máx. | % p/p | 0.35 | 0.05 | |
| Numero de Acido máx. | KOH mg/g | | 0.08 | |
| Fosforo | % p/p | | 0.001 | 10 mg/Kg |
| Punto final de Destilación | °C, 90% | 282 - 338 | 360 (Al vacío) | |
| Corrosión de Cobre | 3 h a 50°C | Nº 3 máx. | Nº 3 máx. | Nº 1 máx. |

FUENTE: Universidad Mayor de San Andrés – Bolivia

Pensar en una producción a gran escala de biodiesel a partir de aceites vegetales podría resultar inviable viendo que la producción peruana de aceites ni siquiera logra satisfacer la demanda para consumo humano directo. Dado que ya existen investigaciones en el extranjero que demuestren que es posible producir biodiesel a partir de aceites usados, cabe suponer que lo mismo se podría implementar en el Perú. Con este fin se deberían

desarrollar más investigaciones que generen las bases técnicas para la utilización de aceites usados en la producción de biodiesel en el Perú.

La idea de utilizar productos vegetales en el corazón mismo del motor no es novedad. Solo con citar la experiencia del creador del motor de encendido compomotor diesel, el propio Rudolf Diésel, quien utilizó aceite de maní para impulsar sus creaciones en la exposición de París de 1900, nos indica, que las raíces de este asunto se remontan un centenar de años atrás.

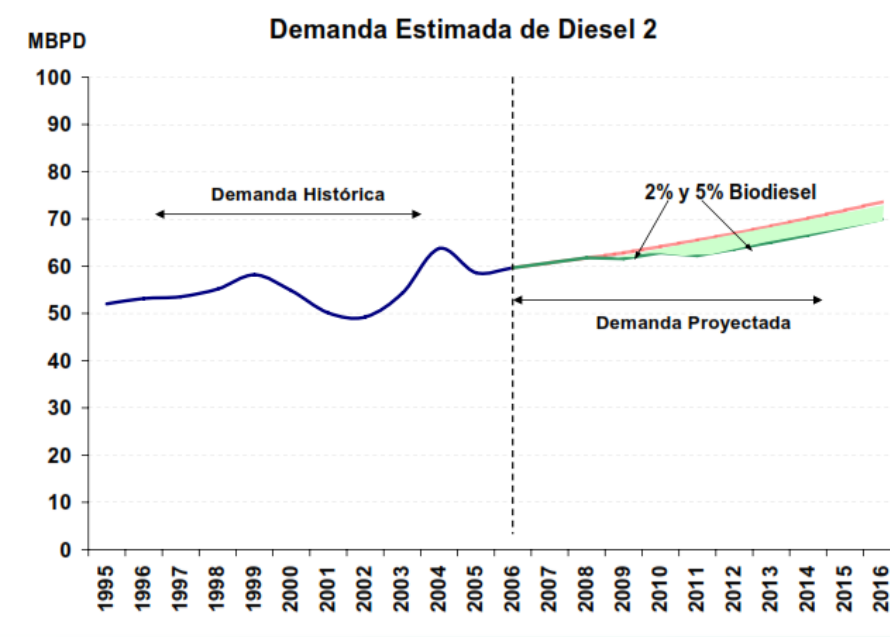
Durante estos cien años, y fundamentalmente, en la segunda mitad del siglo veinte, que sucedieron un sin fin de investigaciones y experiencias, las que llevaron como estandarte la frase *“el aceite de cocina será el combustible del futuro”*, a la cual se le ha otorgado un significativo impulso en estos últimos años. (Jose Stratta, 2000)

Situación de consumo de diésel en el Perú.

En el Perú, mediante Decreto del Consejo Directivo del Consejo Nacional Del Ambiente (CONAM) N° 024-01-CD/CONAM. Se creó el Grupo técnico Multisectorial para promover el uso de biocombustibles líquidos, el mismo que inició sus labores en el mes de febrero del 2002 con el propósito de que en un plazo de 6 meses presente un programa de promoción identificando los aspectos del marco político, institucional y normativo requeridos. Como conclusión del estudio realizado por el grupo técnico se determinó que *“la utilización del etanol anhidro y del biodiesel, como biocombustibles líquidos se presentan como una oportunidad para el país para reducir la contaminación ambiental, promover la agricultura, la agroindustria, generar, nuevas inversiones, nuevas fuentes de trabajo y de promover cultivos alternativos rentables”*. (GTB-CONAM, 2003).

Este Grupo Técnico Multisectorial, elaboró también la iniciativa legislativa para la promoción de los biocombustibles en el Perú que fue aprobada el 7 de agosto del 2003 como *Ley de Promoción del mercado de biocombustibles* (Ley N°28054). Esta ley tiene como objetivo central promover el uso de esta forma de energía fomentando el desarrollo agropecuario y buscar un mercado alternativo para erradicar los cultivos cocaleros. También se establece la creación del programa de Uso de Biocombustibles

(PROBICOM) cuyo objeto es “Promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles y difundir las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso” (**Diario el Peruano, 07/08/2003**).



FUENTE: Situación Actual y Perspectivas de los Biocombustibles en el Perú-Ministerio de Energía y Minas

DEMANDA PROYECTADA DE DIESEL 2 Y GASOLINAS

| MBPD | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Diesel 2 | 60,7 | 61,8 | 62,8 | 64,1 | 65,5 | 67,0 | 68,5 | 70,1 | 71,8 | 73,6 |
| Gasolinas | 19,4 | 18,7 | 18,0 | 17,4 | 16,8 | 16,2 | 15,6 | 15,1 | 14,6 | 14,1 |

FUENTE: Situación Actual y Perspectivas de los Biocombustibles en el Perú-Ministerio de Energía y Minas

DEMANDA PROYECTADA DE BIOCOMBUSTIBLES

| MBPD | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Biodiesel | 1,3 | 1,3 | 3,3 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 |
| Etanol | | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |

FUENTE: Situación Actual y Perspectivas de los Biocombustibles en el Perú-Ministerio de Energía y Minas

- **CARACTERISTICAS DEL DIESEL Y EL BIODIESEL**

Propiedades del diésel

Un gasoil esta compuesto principalmente por compuestos parafinicos, naftalenicos y aromáticos. El número de carbonos es bastante fijo y se encuentra entre el C10 y C22.

Propiedades del Biodiesel

Los componentes básicos de los aceites y grasas son los triglicéridos, los cuales provienen tanto de ácidos grasos saturados como insaturados. Dependiendo de estas y otras características del origen de los triglicéridos se obtendrá un biodiesel con unas cualidades u otras.

Especificaciones Técnicas Biodiesel

| Propiedad | Método de ensayo(a) | Biodiesel B100 | Unidades |
|--|---------------------|---------------------|--------------------|
| Contenido de calcio y magnesio, combinado | EN 14538 | 5 máx. | ppm (ug/g) |
| Punto de inflamación. (Copa cerrada) | ASTM D 93 | 93 min. | °C |
| Control de alcohol (uno de los siguientes debe ser cumplido:) | | | |
| 1. Contenido de Metanol | EN 14110 | 0,2 máx. | % volumen |
| 2. Punto de Inflamación | ASTM D 93 | 130,0 min. | °C |
| Agua y Sedimento | ASTM D 2709 | 0,050 máx. | % volumen |
| Viscosidad cinemática a 40°C | ASTM D 445 | 1,9-6,0 (b) | mm ² /s |
| Ceniza Sulfatada | ASTM D 874 | 0,020 máx. | %masa |
| Azufre (c) | ASTM D 5453 | 0,0015 máx. (15) | %masa (ppm) |
| Corrosión a la lámina de cobre | ASTM D 130 | N° 3 | |
| Numero de cetano | ASTM D 613 | 47 min. | |
| Punto nube | ASTM D 2500 | Reportar (d) | °C |
| Residuo de Carbono (e) | ASTM D 4530 | 0,050 máx. | %masa |
| Numero de acidez | ASTM D 664 | 0,50 máx. | Mg KOH/g |
| Glicerina Libre | ASTM D 6584 | 0,020 máx. | %masa |
| Glicerina Total | ASTM D 6584 | 0,240 máx. | %masa |
| Contenido de Fosforo | ASTM D 4951 | 0,001 máx. | %masa |
| Temperatura de destilación Temperatura del 90% de recuperado Equivalente a presión atmosférica | ASTM D 1160 | 360 máx. | °C |
| Contenido de sodio y potasio, combinado | EN 14538 | 5 máx. | Ppm (ug/g) |
| Estabilidad a la oxidación | EN 14112 | 3 min. | Horas |

FUENTE: NTP 321.125.2008

Especificaciones Técnicas Diésel B5

| CARACTERISTICAS | ESPECIFICACIONES | | METODOS DE ENSAYO | | |
|--|------------------|--------|----------------------------|---------------|--------|
| | Mínimo | Máximo | ASTM | ISO | UNE EN |
| Densidad a 15°C, Kg/m³ | Reportar | | D 1298 D4052 | 3675 | |
| FLUIDEZ | | | | | |
| Viscosidad cinemática a 40°C, cSt (A) | 1.9 | 4.1 | D 445 | 3104 | |
| Punto de escurrimiento, °C (B) | | 4 | D 97 | 3016 | |
| COMPOSICION | | | | | |
| Numero de cetano (C) | 45 | | D 613 | 5165 | |
| Índice de cetano | 45 | | D 4737 D 976 (**) | 4264 | |
| Cenizas, % masa | | 0,01 | D 482 | 6245 | |
| Residuo de carbón Ramsboltom, 10% fondos, %masa (D) | | 0,35 | D 524 D 189 | 4262 6615 | |
| Azufre total, mg/kg (ppm) | | 50 | D 4294 D 5453 D 2622 | 14596 4260 | |
| CORROSIDAD | | | | | |
| Corrosión a la lámina de cobre, 3h, 50°C, N° | | 3 | D 130 | 2160 | |
| CONTAMINANTES | | | | | |
| Agua y sedimentos, % Vol. | | 0,05 | D 1796 D 2709 | 3734 | |
| LUBRICIDAD | | | | | |
| Lubricidad, diámetro rasgado de uso corregido, HFRR a 60 °C, micrón. | | 520 | D 6079 | 12156 | |
| REQUERIMIENTOS DE OPERATIVIDAD | | | | | |
| Punto de obstrucción del filtro, flujo en Frio, °C (CFP) o (POFF) | | -8 | D 6371 | | 116 |
| CONDUCTIVIDAD | | | | | |
| Conductividad, pS/m (E) | 25 | | D 2624 D 4308 | | |
| BIODIESEL 100 (B100) | | | | | |
| Contenido, % Vol. | 2 (***) | | D 7371 | | 14078 |

FUENTE: DS N° 092-2009-EM

- Aceites vegetales**

Químicamente los aceites vegetales son esteres de ácidos grasos y glicerol. Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos (radical COOH) de largas cadenas lineales. Algunos de ellos son saturados y algunos contienen uno o más dobles canales. El glicerol es un trioxialcohol, 1, 2, 3 propanotriol (**Mortimer,1983**).

Los esteres formados de un mol de glicerol y tres moles de ácido graso se llaman triglicéridos (TAG). Los ácidos grasos al unirse con el glicerol liberan tres moléculas de agua para formar los TAG (**Canakci y Van Gerpen, 2001**).

El aceite natural es una mezcla de triglicéridos diferentes, los cuales a su vez pueden formarse de ácidos grasos diferentes; son líquidos a temperatura ambiente y contienen mayor porcentaje de esteres de ácidos insaturados, (**Mortimer, 1983**).

Las diferentes propiedades de los aceites están relacionadas directamente con el número de estructura química de los ácidos grasos unidos al glicerol (diglicerido, monoglicerido y triglicérido), así como también con el grado de saturación y la longitud de la cadena del mismo. (**Hugh, 2000**)

- **Aceite como combustible**

Antiguamente los aceites vegetales se empleaban como combustibles para el alumbramiento. En la actualidad han sido totalmente reemplazados, salvo en algunos usos muy específicos.

Entre los estudios mas destacados con el uso de aceites esta el realizado por Rudolf Diésel en 1895, posteriormente se realizaron pruebas en este mismo tipo de motor con aceite de palma y otros aceites grasos.

Es conocida también la pirolisis de grasas para la producción de combustibles ligeros (gasolina de bajo octanaje), habiéndose instalado plantas en Japón para la elaboración de este combustible durante la época en la que el petróleo no era esquible. Posteriores investigaciones también han logrado producir gas combustible sometiendo a craqueo aceites como el de maní. (**Mehlenbacher, 1970**).

El aceite de coco ha sido utilizado ampliamente durante la segunda guerra mundial para la fabricación del “NAPALM”, agente de espesamiento y gelificacion de la gasolina para la fabricación de bombas incendiarias. (**Mehlenbacher, 1970**).

Calentar aceite vegetal para disminuir su viscosidad es otra de las formas de uso en un motor diésel, sin embargo esta ha sido ignorada por muchos investigadores de combustibles. Asimismo el uso de aceite mezclado con kerosene se presenta como una alternativa al uso del diesel de petróleo en vehículos (**Tickell, 2000**).

Estos algunos ejemplos de cómo el aceite vegetal ha sido durante años considerando como fuente combustibles debido a su alto poder calorífico, a comparación incluso de otros productos como el carbón vegetal el que representa un 86% del poder calorífico del primero.

- **Aceites vegetales usados**

Los aceites vegetales usados provienen en mayor proporción del proceso de fritura. Incluso en el caso de las papas fritas tipo “Chips”, que son el alimento que mayor cantidad de aceite absorbe durante su fritura, se desecha alrededor de un 65% de la cantidad inicial de aceite utilizado (**Fedeli, 1998**). El rol que desempeña el aceite en este proceso es doble, actúa como medio de transmisión de calor, y como ingrediente del producto frito al ser absorbido por el mismo. (**De la Cruz y Huaman, 2002**).

En el marco de la presente investigación son considerados aceites vegetales usados aquellos que durante la fritura, han pasado por una descomposición debido a las temperaturas a las que han sometidos. Los aceites tienen diversas propiedades que determinan su calidad para consumo humano, sin embargo, el proceso de fritura ocasiona una serie de reacciones que varían estas propiedades y que podrían influir en la calidad final del biodiesel a elaborar.

A) Reacciones durante el proceso de fritura

Durante el proceso de fritura ocurren reacciones termolíticas y oxidativas en el aceite debido a la temperatura, en especial cuando en el medio hay sustancias o residuos que actúan como catalizadores de esta alteración. Cuando los aceites y grasas son calentados a temperaturas mayores a 100°C, tres importantes reacciones químicas ocurren simultáneamente: Hidrolisis, polimerización y oxidación, las cuales son razonables de su rancidez (**ramos, 2001**).

La **hidrolisis** rompe el enlace entre los ácidos grasos y el glicerol, formando ácidos grasos libres (AGL) así como monoglicéridos (MG) y diglicéridos (DG). Esta resulta acelerada por las altas temperaturas y la presencia de agua, como en el caso

de la preparación de alimentos fritos con alto contenido de humedad, donde el aceite o grasa puede alcanzar una temperatura de 176.6°C (**Lawson, 1994**).

La **oxidación**, tienen lugar en los dobles enlaces o puntos de insaturación del ácido formando peróxido. Los aceites que contienen una proporción elevada de ácidos grasos insaturados, son más propensos a la oxidación que los que contienen cantidades bajas (Lawson, 1994). Durante este proceso van apareciendo cambios organolépticos (alteración del sabor, palatabilidad, oscurecimiento), físicos (aumento de la viscosidad) y químicos (formación de polímeros y compuestos volátiles y compuestos volátiles), lo que caracteriza a un aceite vegetal usado.

La **polimeración** se produce cuando los peróxidos formados en la oxidación de los ácidos grasos, se fusionan para formar compuestos volátiles, compuestos cíclicos y polímeros con grupos hidroperóxidos, hidróxidos, epóxido. Estas reacciones tienen lugar en los puntos de insaturación de las cadenas de ácidos grasos y se llevan a cabo durante la fritura a temperaturas entre 200°C y 300°C y durante tiempos prolongados de exposición (dentro de las 10 horas), ocasionando el aumento de la viscosidad y la formación de espuma en los aceites de fritura (**lawson, 1994**)

De la Cruz y Huamán (2002), estudiaron la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos en aceites comestibles alterados por recalentamiento y encontraron benzo(a) antraceno, benzo(a) pireno, dibenzo(a,h)antraceno, fluoranteno y pireno; todos estos están incluidos dentro del grupo de hidrocarburos aromáticos policíclicos de gran potencia carcinogénica.

B) Aceites vegetales usados en el Perú

En el País, el consumo de aceites vegetales se realiza a nivel industrial, comercial y doméstico. En la ciudad de Lima Metropolitana existen diversos establecimientos como pollerías, chicharronerías, chifas, etc., en donde se utilizan aceites vegetales para las frituras e alimentos. En la mayoría de estos dichos aceites son reutilizados una y otra vez hasta llegar a generar benzopirenos y otros hidrocarburos aromáticos (**De la Cruz y Huamán, 2002**). No existen cifras exactas ni referenciales acerca de

las cantidades de aceite vegetal usado que se generen por estas actividades, igualmente se desconoce el destino final de los mismos.

Se sabe que en el Perú existen empresas que han desarrollado técnica para el reciclaje de aceites vegetales usados (**IPES, 2002**). Entre ellas, lubricantes filtrados Marte E.I.R.L, dedicada a la elaboración de lubricantes para autos, utiliza estos aceites como insumos en su proceso de producción de grasas mecánicas para la industria.

Los aceites vegetales usados primero por una saponificación para posteriormente pasar al proceso de mezclado en molinos con aceite base-refinado y finalmente un aditivo con el fin de obtener grasas mecánicas.

C) Proceso de transesterificación de triglicéridos

Químicamente la transesterificación de alcoholisis de esteres carboxílicos (**Schuchardt, Sercheli y Vargas, 1997**). Mediante ella, se separa el glicerol de TAG y se forman esteres lineales de ácidos grasos. Según el alcohol utilizado pueden resultar metilesteres o etilesteres. La alcoholisis de triglicéridos, no solo produce glicerol libre y triglicéridos de estructura cambiada o reajustada, sino también mono y diglicéridos, junto con los esteres del nuevo alcohol (**Mehlenbacher, 1970**)

La finalidad de realizar esta reacción es reducir la alta viscosidad de los triglicéridos que los hace poco aptos como combustibles en motores diésel actuales sin modificar. La finalidad de realizar esta reacción es reducir la alta viscosidad de los triglicéridos que los hace poco aptos como combustibles en motores diesel actuales sin modificar.

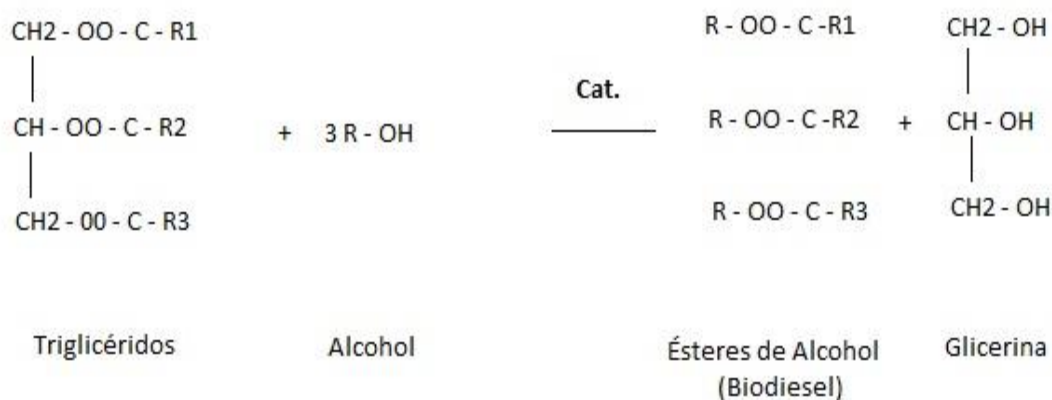
Las moléculas de biodiesel (metilesteres de ácidos grasos) están compuestas por un ácido graso de cadena larga y un radical alcohol; se obtiene como subproducto glicerol proveniente de la separación de los TAG el cual constituye no menos del 90% p/p del presente en la grasa original (**Mehienbacher, 1970**).

Bradshaw y Meuly (1942 citados en Mehlenbacher, 1970), indican que el desplazamiento a gran escala del glicerol por metano, deriva de la temperatura a la que se produce la reacción. Las investigaciones realizadas por Bradshaw utilizaron aceite caliente a una temperatura de 80°C antes de la adición del Hidróxido de potasio disuelto en el alcohol metílico. La cantidad de alcohol que recomienda es de 1.6 veces la necesaria teóricamente para la reacción requiriéndose solo unos minutos de agitación para que el glicerol empiece a separarse y sedimentar debido a su densidad. La transformación del aceite en éster metílico de los ácidos grasos fue 98% p/p del total, al cabo de una hora.

Los metilesteres de ácidos grasos (FAME) son fluidos relativamente estables, no corrosivos y de bajo punto de ebullición. Sin embargo cabe resaltar que la alcoholisis catalizada alcalinamente, como la desarrollada por Bradshaw, es totalmente satisfactoria solo si la grasa esta casi desprovista de AGL y si la mezcla a reaccionar es sustancialmente anhidra (**Wright et al., 1994 citado en Frangrui, 1999**). Si alguna de estas condiciones no se cumple, se tiende a la formación de jabón y a la aparición de estructuras tipo gel que impiden o retardan la separación y decantación del glicerol (**Mehlenbacher, 1970**).

De igual manera, **Freedman (1984 citado en Zhang et al., 2003^a)** indica que para producir biodiesel utilizando un catalizador alcalino, se debe contar con un aceite que posea un porcentaje de AGL de 0.5% p/p, pues la existencia de estos en presencia de agua lleva a una menor producción de biodiesel.

El biodiesel se obtiene por transesterificación de los triglicéridos (grasas o aceites) con un alcohol de bajo peso molecular (metanol o etanol). A reacción en forma simplificada es la siguiente:



FUENTE: Universidad Mayor de San Andrés- Bolivia (2007)

Donde R1, R2 y R3 son cadena generalmente largas de ácidos grasos. Los ácidos grasos que se presentan con mayor Frecuencia en las grasas y aceites, son:

Acido palmítico $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{14} - \text{COOH}$ (16 Carbones, saturado)

Acido esteárico $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{16} - \text{COOH}$ (18 Carbones, saturado)

Ácido oleico $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$ (18 Carbones 1 doble ligadura, insaturado)

Ácido Linoleico $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_4 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$ (18 Carbones mas doble ligadura)

Ácido Linolenico 18 carbones, 3 dobles ligadura.

Por tanto, el biodiesel es una mezcla de esteres de diferentes ácidos grasos generalmente de cadena larga, derivados de los aceites vegetales o grasas animales.

Transesterificación de aceites vegetales usados

La utilización de aceite vegetal usado en vez de aceite virgen para producir biodiesel, es una efectiva manera de disminuir los costos de producción y además es una alternativa para resolver el problema de la disposición de estos aceites (**Zhang et al., 2003a**).

El proceso de transesterificación es el mismo que se utiliza para aceites limpios sin embargo, debido al contenido de impurezas (producto de las reacciones

químicas de alteración que sufre el aceite durante la fritura) como ácidos grasos libres, agua, sal, sólidos y triglicéridos polimerizados, se han adicionado una serie de pasos previos.

Watanabe (2001 citado en Zhang et al., 2003a) indica que estos aceites generalmente poseen niveles de ácidos grasos mayores al 2% p/p, por lo que recomienda un pre tratamiento para disminuir este porcentaje antes de realizar la transesterificación. **Freedman, Pryde, Lui y mitteelbach et al., citados por Canakci y Van Gerpen (2001)**, coinciden en que los aceites no deberían tener más 1% de AGL para que la transesterificación por vía alcalina sea óptima. Posteriores trabajos indican que el límite para una transesterificación alcalina debe ser 0.5% de AGL.

Entre los pre – tratamientos más comunes de purificación se encuentra la esterificación ácida (previa a la transesterificación básica) que utiliza como catalizadores ácido sulfúrico. Sin embargo esta se justificara solo para aceites con un contenido de AGL superior al 2% p/p, dado los costos que implica un proceso en dos etapas (**Zhabg et al., 2003b**). Para el caso de aceites usados que no tienen altos niveles de AGL, bastaría simplemente con una catálisis básica, pero con un aceite anhidro.

D) Proceso de lavado del biodiesel

Frangrui et al. (1999) afirma que después de la transesterificación de triglicéridos, los productos son una mixtura de esterres, glicerol, alcohol, catalizador remanente, tri-, di- y mono glicéridos que causan turbidez. **Alovert (2003)** confirma lo mencionado por Frangri, sin embargo identifica también jabones solubles en el biodiesel, por lo que recomienda lavarlo con agua para remover estas impurezas y adicionalmente detener la reacción que pueda producirse si se guardara el biodiesel sin lavar.

El metanol sin reaccionar y el hidróxido remanentes en el biodiesel pueden ocasionar la corrosión de los componentes del motor; así el mismo jabón residual en el combustible puede reducir su lubricidad y generar residuos en la bomba de inyección. Para **Ryan (2004)**, el lavado es únicamente significativo cuando se

tienen grandes cantidades de biodiesel y cuando este se mezcla en altas proporciones con el diésel.

Karaosmanoglu et al. (1996 citado en Zhang, 2003^a), estudiaron diferentes técnicas para la purificación del biodiesel. En términos de pureza y rendimiento del producto concluyeron que el lavado con agua caliente a 50°C es la mejor manera de obtener una alta pureza (99%) y un rendimiento del 86% del biodiesel producido.

En algunos procesos de producción, como los realizados en Argentina, no se considera necesario realizar el lavado debido a la calidad de aceite utilizado (aceite de soya) el cual resulta en un líquido color amarillo claro y casi transparente que tiene una viscosidad similar a la del diésel.

E) Principales propiedades de los aceites vegetales y su implicancia en la elaboración del biodiesel.

Las propiedades de los aceites están íntimamente ligadas a las del biodiesel debido a que el ácido graso es el que da las características principales a un aceite. La reacción de transesterificación no modifica la composición de los ácidos grasos, únicamente libera el glicerol que los une permitiendo el ingreso del radical alcohol, por lo tanto muchas propiedades del biodiesel dependerán del aceite de origen.

- **Índice de acidez (% Ácidos grasos libres)**

Cualquier ácido graso no unido al glicerol o a alguna otra molécula en un aceite o grasa, se denomina “ácido graso libre” (**Lawson, 1994**). El índice de acidez representa el contenido de AGL y es una medida del grado de hidrólisis que ha sufrido el triglicérido; se expresa como porcentaje de ácido oleico, palmítico, o laurico, según el ácido graso que predomine en la grasa en cuestión (**Mele, 1994**).

Los aceites y grasas refinados, que están listos para el uso en alimentos deben tener un nivel de ácidos grasos libres inferior al 0.2% p/p como ácido oleico, según la NTP209.001.1983. Sin embargo después de haber sometido este aceite a

un proceso de fritura se puede llegar a alcanzar el 2% p/p o mas. En estos casos aun es factible trabajar estos aceites para la elaboración de biodiesel, pero deben pasar por un proceso previo para lograr la eliminación de la acidez como por ejemplo una catálisis acida (*Watanabe, 2001 citado en Zhang et al., 2003 a*)

Durante la transesterificación los ácidos grasos libres del aceite en presencia de agua pueden reaccionar con el catalizador produciendo jabón (saponificación), lo que lleva a una menor producción de biodiesel. La saponificación consume el catalizador necesario para la transesterificación y los jabones formados promueven la formación de emulsiones que dificultan la purificación de biodiesel (*Zhang et al., 2003 a*).

- **Viscosidad**

La viscosidad es una medida de la resistencia a fluir debido las atracciones internas entre moléculas de un líquido (*Mortimer, 1983*). Durante la fritura, la viscosidad de un aceite o grasa, tiende a incrementarse a medida que lo hacen las reacciones de oxidación y polimerización. La viscosidad de los aceites altamente polimerizados es mucho más elevada que la de los aceites normales (*Mehlenbacher, 1970*).

Dentro de un motor diésel es importante el uso de un combustible de baja viscosidad pues esto facilita su conducción desde la bomba de inyección y su pulverización en el cilindro de los motores, determinando así las condiciones finales de combustión (*Paredes, Romero y Acevedo, 1985*).

- **Índice de Yodo (IY)**

Este parámetro indica el grado de saturación del aceite. Esta dado por los gramos de I_2 que son fijados por 100g de aceite. Un aceite saturado (con enlaces simples) poseerá un IY=0; mientras que a mayor cantidad de insaturaciones (dobles enlaces) se fijara en ellos una cantidad proporcional de Yodo, incrementándose por lo tanto un índice.

Un aceite con ácidos grasos insaturados posee una punta de solidificación menor que un aceite con ácidos grasos saturados. Los aceites vegetales están compuestos

por diversos ácidos grasos (saturados e insaturados) con distintos puntos de fusión, por lo cual existe una gama de temperaturas sobre las cuales la solidificación puede ocurrir. Estos rangos tanto para los puntos de fusión como de solidificación pueden ocasionar problemas durante su uso como combustible, entre ellos la obstrucción total o parcial de los sistemas de inyección en el vehículo debido a la solidificación del ácido grado cuando la temperatura ambiental disminuye (*Calais y Clark, 2000*). Es por esto que es importante conocer el punto de cristalización (Cloud point-CP) y el punto de obstrucción del filtro (Cold Filter Plugging point-CFPP) para el biodiesel que se va a emplear.

Los aceites insaturados tienden a oxidarse fácilmente debido a la escasez de átomos de hidrogeno en su composición, por lo que las insaturaciones se rompen formando peróxidos y polímeros. Se debe considerar en este sentido que las altas temperaturas y presiones elevadas que se dan en los motores favorecen la oxidación del combustible. Por ello es preferible utilizar las grasas saturadas porque son más resistentes a la oxidación, sin embargo su punto de fusión más alto imposibilita también su uso en climas fríos.

- **Índice de peróxido**

El índice peróxido es una medida del grado de oxidación de una grasa o aceite. Los peróxidos comprenden los productos de descomposición primaria de la oxidación de las grasas. La reacción secundaria y los productos de descomposición que resultan de la oxidación, incluyen compuestos tales como parecidos, aldehídos, cetonas, alcoholes, etc.

Un índice de peróxido alto indica normalmente un alto grado de absorción de oxígeno; este valor junto con altos valores de ácidos grasos libres indica un crecimiento acelerado.

Mientras que un aceite apto para su consumo debe tener un índice de peróxido inferior a 5 meq O₂/Kg (NTP209.001.1983), un aceite rancio tiene niveles superiores a 100 meq O₂/Kg (USDA).

La medida del índice de peróxido tiene un valor muy limitado en la determinación del estado final de una grasa de fritura pues a temperaturas de fritura extrema (mayor a 176°C), estos peróxidos son totalmente volátiles y se eliminan por

destilación (*Lawson, 1994*). En el Perú no se tiene valores que identifiquen a un aceite rancio.

- **Gravedad específica**

La gravedad específica de una sustancia, se define como la razón de su densidad respecto de la densidad del agua a 4°C, la cual es 1 g/cm³ (*Serway, 1993*). La gravedad específica de los aceites vegetales esta generalmente sobre los 0.900 a 27°C (*Tickell, 2000*).

La gravedad específica es relacionada con la densidad de la sustancia, variable que determina la diferencia entre los hidrocarburos livianos y pesados. La Secretaría de Energía de la República de Argentina, da una clasificación completa de los tipos de hidrocarburos; según esta, el biodiesel ocuparía la clasificación de crudo medio.

CLASIFICACION DE CRUDOS SEGÚN SU DENSIDAD

| Tipo de Crudo | Densidad |
|---------------|----------|
| Liviano | <870 |
| Medio | 920-870 |
| Pesado | 1000-920 |
| Extra Pesado | >1000 |

FUENTE: *Secretaría de Energía-República de Argentina. Contenidos didácticos.*

Densidades menores a 0.9 mejoran la calidad del encendido del combustible ya que cuanto más ligero sea, más fácil se enciende en general (*Paredes et al., Citado en Forero, Gnecco y Torres, 2003*).

F) Uso de aceites transesterificados en motores de combustión interna

La mayoría de los motores modernos a diésel tienen sistemas directos de inyección de combustible y son más sensibles al tipo y calidad del combustible a utilizar, por ello cualquier nuevo combustible debe tener propiedades que estén más cerca a las del diésel convencional.

Se dice que la transesterificación de los aceites vegetales son una opción para su reemplazo, ya que el producto resultante posee especificaciones que pueden

encontrarse cercanas a las del diésel, a excepción del punto de congelación, que en muchos casos esta sobre los -8°C (*Van Gerpen y Canakci, 2001*)

La siguiente tabla resume las propiedades del biodiesel comparadas con las de los aceites vegetales y las del diésel.

PROPIEDADES DEL DIESEL, ACEITES VEGETALES Y ESTERES METILICOS

| Propiedad | diésel | Aceite De girasol | Ester Metílico De Girasol | Aceite de colza | Ester Metílico De colza |
|--|--------|-------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|
| Gravedad especifica | 0.853 | 0.924 | 0.880 | 0.916 | 0.880 |
| Viscosidad (cSt a 20°C) | 5.1 | 65.8 | --- | 77.8 | 7.5 |
| Viscosidad (cSt a 50°C) | 2.6 | 39.4 | 4.2 | 25.7 | 3.8 |
| Calor de combustión neto (MJ/kg) | 28.4 | 36.5 | 35.2 | 37.2 | --- |
| Calor de Combustión neto (MJ/kg) | 35.4 | 34.1 | 33.0 | 34.3 | 33.1 |
| Numero de Cetano | 35.4 | 33 | 45 – 51 | 44 – 51 | 52 – 56 |
| Residuos Carbonosos (%) | >45 | 0.42 | 0.05 | 0.25 | 0.02 |
| Azufre (%) | 0.15 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0001 | 0.0020 |

FUENTE: *Gnecco M. y Coello J. (2000)*

Como se observa, la gravedad especifica de los esteres metílicos resulta ser menor a la del aceite, lo que demuestra que el proceso de transesterificación varia esta propiedad. En cuanto a la viscosidad, esta se ve reducida entre un 85% y un 88% obteniendo un valor similar al del diésel, lo que genera mayor lubricidad al motor.

El calor de combustión neto mide la energía disponible en el combustible, como se observa el biodiesel contiene menor energía de combustión que el diésel.

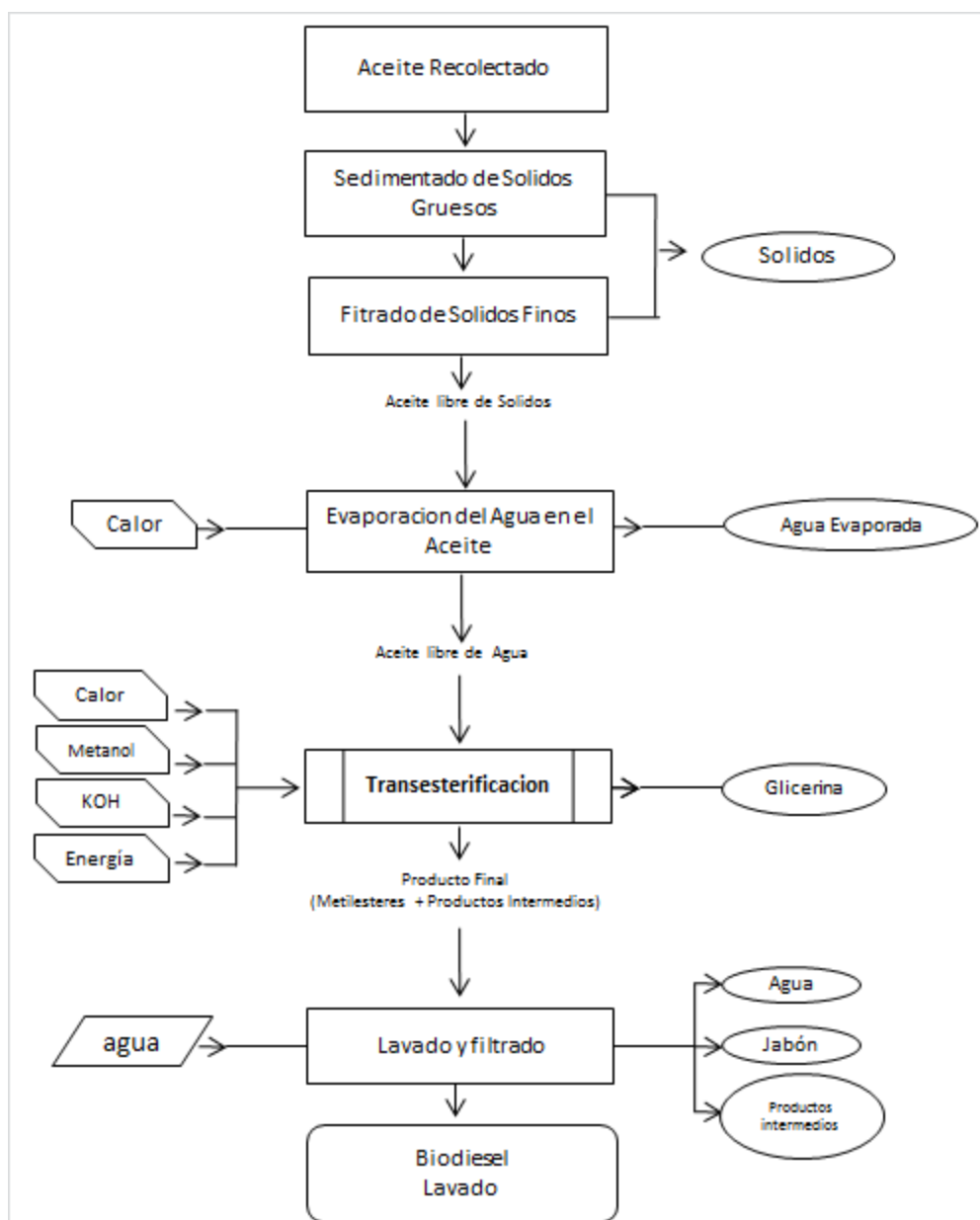
Según *Tickell (2000)*, la reducción de energía es parcialmente compensada con un incremento en promedio del 7% en la eficiencia d combustión.

Observado los datos de la tabla el número de cetano se puede comprobar lo mencionado por Tickell, decir el biodiesel presenta una ignición, lo que haría uniforme su combustión.

Se observa también que el porcentaje de residuos carbonosos es menor, disminuyendo así la deposición de residuos en el motor. Una de las ventajas importantes del biodiesel es que prácticamente no contienen sulfuros. Reducir los niveles de sulfuro en los combustibles es un método para mejorar la lubricidad y disminuir la emisión de partículas solididad, con lo cual se incrementa su vida útil.

G) Procedimiento metodológico

Proceso de Elaboración del Biodiesel, Moyobamba -2012



➤ **Proceso para la medición de gases:**

Para obtener resultados confiables y representativos se siguieron los siguientes parámetros de medición y obtención de datos:

- La diferencia entre las tres mediciones debe ser constante, y los parámetros se obtuvieron tras varias mediciones de prueba con los diferentes cortes del biodiesel y diferentes tiempos de utilización que no necesariamente cumple con lo anteriormente mencionado, siendo los resultados los siguientes parámetros:
 - La variación de la concentración del CO no debe ser mayor a 20 ppm.
 - La variación de la concentración del SO₂ no debe ser mayor a 0.5 ppm.
 - La variación de la concentración del NO₂ no debe ser mayor a 1.00 ppm.
- Se estableció una medida de distancia del tubo de escape (50 cm) para poder realizar las mediciones, la cual se mantuvo constante durante las 360 mediciones.
- Se tuvo que establecer la unidad de tiempo para las mediciones llegando a la conclusión después de varias mediciones de prueba que las emisiones partir de los 30 min se mantiene casi constante por lo cual se determinó 1 hora de funcionamiento del motor y las mediciones se realizaran en el arranque (Primeros 5 min), a los 15 min, a los 30 min y a los 60 min de funcionamiento.
- Después de cada hora de medición se tuvo a hacer descansar al motor por un lapso de 02 horas para que se enfriara y las próximas mediciones sean más confiables, adicionalmente se le debió hacer mantenimiento al motor cada vez que se cambiaba de corte o concentración del biodiesel.
- El tiempo de las mediciones duro una semana tomando en cuenta las horas de medición, los tiempos de enfriamiento del

motor y el tiempo del mantenimiento, trabajando diariamente 10 horas.

1.3.3 Definición de términos

- **Biocombustibles:**

Son los productos químicos que se obtienen a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplen con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes para su uso como carburantes. **(D.S N° 013-2005-EM)**

- **Gasol**

El gasol es un combustible líquido de gran calidad obtenido como producto intermedio en la columna de destilación atmosférica del petróleo. En el campo de la automoción, se utiliza en motores de encendido por compresión, que siguen ciclo Diesel, tanto para vehículos ligeros como para vehículos pesados.

- **Biodiesel:**

Mezcla de ésteres (de acuerdo con el alcohol utilizado) de ácidos grasos saturados e insaturados de diferentes masas moleculares derivados de la transesterificación de aceites y grasas de origen vegetal. Para fines del presente reglamento se entiende como una sustancia oleaginosa obtenida a partir del aceite de palma, higuera, soja, girasol y otros aceites vegetales. **(D.S N° 013-2005-EM)**

- **Emisión**

Descarga de gases y/o partículas proveniente de las actividades de hidrocarburos. **(D.S N° 062-2010-EM).**

- **Glicerina Libre**

Una medida de la cantidad de glicerina remanente en el combustible. **(NTP 321.125.2008)**

- **Contaminante del aire**

Sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y al bienestar humano. (D.S N° 074-2001-PCM)

1.4 Variables

Como variables se considerarán a las siguientes:

- **Variable Independiente:**

X = Utilización del biodiesel como combustible

- **Variables Dependientes:**

Y = Contaminantes atmosféricos

INDICADOR

Generación de gases como CO, CO₂, SO_x, NO_x, PM10, PTS

UNIDAD DE MEDIDA

µg/m³

1.5 Hipótesis

Si utilizamos el biodiesel obtenido de aceite de cocina reciclado de las pollerías en los motores diésel, entonces se reducirá significativamente la producción de contaminantes atmosféricos en este tipo de motor.

CAPITULO II: Marco Metodológico

2.1 Tipo de investigación

2.1.1. Según el enfoque o tendencia: Descriptiva

2.1.2. Según la orientación: Aplicativa

2.2 Diseño de investigación

Tipo de diseño experimental: El presente proyecto de tesis es de tipo cuasiexperimental, para lo cual se usó el siguiente modelo experimental.

Cuadro N° 01: Modelo del diseño, Moyobamba 2012

| GRUPO | ASIGNACIÓN | TRATAMIENTO |
|-------|------------|----------------|
| A | NoR | - |
| B | NoR | X ₁ |
| C | NoR | X ₂ |
| D | NoR | X ₃ |

A: B5

B: B25

C: B50

D: B100

R: Aleatorización.

X: Tratamiento

O: Observación medida

Explicación: Se tienen 4 grupos siendo A (B5) el grupo control y B, C y D los grupos tratamiento, siendo los mismos las diferentes concentraciones del biodiesel, a los cuales se les realizó mediciones de gases siendo estas comparadas con el grupo A (B5).

2.3 Población y muestra

- Población: 13 pollerías de la ciudad de Moyobamba.
- Muestra: 5 pollerías (Arizona Chicken, Selva Alegre, Buen Sabor, El Caporal y Las Brasas)

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se usaron las siguientes técnicas e instrumentos:

- **Entrevistas.**
- **Análisis de documentos.**
- **Internet.**
- **Equipos:** Se utilizaron los siguientes equipos:
 - **01 Series Singles Gas Personal Monitors:** Sirve para medir CO cuyo rango de detección de 0 a 500 ppm.
 - **SC-01 Single Toxic Gas Monitor:** Sirve para medir SO₂ cuyo rango de detección es de 0 a 6 ppm.
 - **EAGLE One to Six Gas Portables Monitors:** Sirve para medir NO₂ cuyo rango de detección es de 0 a 15 ppm.
 - **Motor diésel 2C de 4 tiempos:** Sirve para la recolección de datos.
- **Encuestas.**

2.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

2.5.1. Los datos obtenidos de las mediciones se procesaron siguiendo los siguientes pasos:

- En primer lugar se tuvo que determinar que gases de combustión se iban a medir y se eligieron el CO, SO₂ y NO₂, que coincidentemente eran los gases de mayor medición por trabajos anteriores de medición.

- Se tuvo que armar un plan de trabajo para el procesamiento de los datos obtenidos, para lo cual se elaboró un cuadro de recopilación de datos.
- Cada concentración se dividió en dos grupos tomando en cuenta el nivel de aceleración (1 y 2).
- El tiempo de medición se realizó en base a una hora y las mediciones se dividieron en 5 grupos (Arranque, 15 min, 30 min y 60 min de funcionamiento) por cada gas en cuestión.
- Se evaluó también el consumo del combustible cuya medición era cada media hora de funcionamiento.
- Se realizó tres mediciones representativas por cada gas de combustión, por unidad de tiempo, por nivel de aceleración y corte de biodiesel.
- Finalmente los datos que se iban obteniendo se iban apuntando en el cuadro para poder realizar luego el análisis de los datos.

2.5.2. Para el análisis de los datos seguimos los siguientes pasos:

- Para poder trabajar con datos representativos se obtuvo el promedio aritmético de todos los datos usando la siguiente formula:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- Finalmente se tuvo que calcular los porcentajes de cambio entre cada medición.
- Para poder comparar los resultados y ver la eficiencia o deficiencia del uso del biodiesel todos los resultados se compararon con la concentración de los gases que emite el B5 en los primeros 5 min del arranque de los dos niveles de aceleración

CAPITULO III: Resultados

3.1 Resultados

3.1.1. Rentabilidad del biodiesel

Biodiesel: Base: 1 GL

Cuadro N°02: Cuadro de costos de elaboración de Biodiesel, Moyobamba 2012

| ITEM | BIENES | UNIDAD | CANT | COSTO UNITARIO (S/) | SUB TOTAL | TOTAL (S/) |
|------------------|--------------------|--------|------|---------------------|-----------|------------|
| | INSUMOS | | | | | |
| 01 | Aceite Usado | Lts | 4.00 | 0.7 | 2.8 | 2.8 |
| 03 | Metanol | Lts | 0.6 | 51.2 | 30.72 | 30.7 |
| 04 | Hidróxido de Sodio | Kg | 0.05 | 9.0 | 0.45 | 0.45 |
| | RESIDUOS | | | | | |
| 01 | Glicerina | Lts | 4.37 | 6.00 | | 26.22 |
| SUB TOTAL | | | | | | 33.95 |
| RESIDUO | | | | | | 26.22 |
| TOTAL | | | | | | 7.73 |

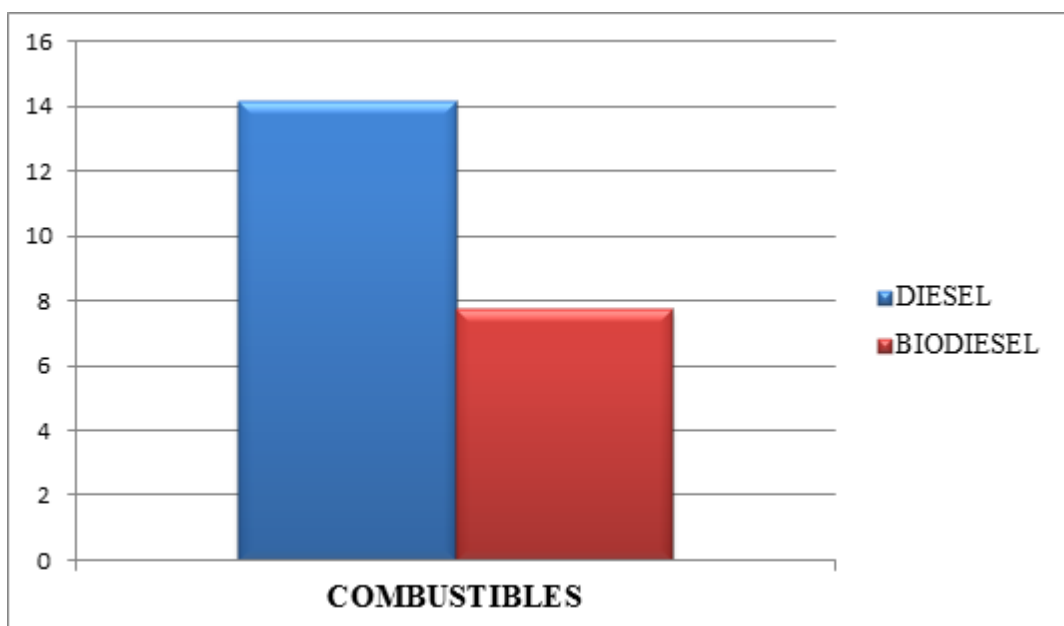
- Costo de biodiesel a base de un Galón es de S/ 7.73

Diésel: Base 1 GL

Cuadro N°03: Cuadro de costos de diésel en el mercado, Moyobamba 2012

| ITEM | BIENES | UNIDAD | CANT | COSTO UNITARIO | SUB TOTAL | TOTAL (S/) |
|--------------|--------------|--------|------|----------------|-----------|------------|
| 01 | Diésel (B-5) | GL | 1 | 14.2 | 14.2 | 14.2 |
| TOTAL | | | | | | |

- Costo de diésel (B-5) en el mercado es de S/ 14.20, costo actual. (Setiembre-2012)

Gráfico N°01: Comparación de Costos de biodiesel Vs Diésel, Moyobamba-2012**Interpretación de Resultados:**

- Se tomó como base 1 galón para realizar la comparación de costos, En la elaboración del biodiesel el costo más elevado es el Metanol, elevando el costo de producción, el biodiesel genera residuo como la glicerina producto el cual tiene un costo en el mercado, siendo de S/ 6.00 por litro, haciendo que el costo del biodiesel baje considerablemente haciendo que este sea mucho más económico que el diésel.
- El costo del diésel actual es de S/ 14.20, este costo es variable, ya que tiende a elevarse constantemente. Si comparamos el costo del biodiesel vs Diésel, tenemos que el biodiesel es más económico.
- Realizando el contraste de costos según los resultados tenemos que el biodiesel es un combustible rentable, ya que los insumos que se utilizan son accesibles, teniendo un sub producto el cual también es utilizado.

El procedimiento utilizado para la elaboración del biodiesel del presente proyecto de tesis se detalla en el **ANEXO 1**.

3.1.2. Rendimiento del biodiesel

- La proporción de rendimiento del biodiesel está determinada por el grado de acidez que presente el aceite de cocina usado, si la acidez es >2 el rendimiento de biodiesel será menor; si la acidez es <2 el rendimiento será mayor llegando en el presente proyecto a un rendimiento de 96%, lo resultados se detallan a continuación:

DATOS INICIALES:

Aceite Usado (Lts) : **54**
 Aceite Usado (Kg) : **48.08**
 Peso del Metanol (Kg) : $48.08 (0.20) = \mathbf{7.212}$
 Peso NaOH : 197.96
 Índice de Acidez : **0.60**

DATOS FINALES:

Biodiesel (Kg) : 48.385
 Glicerina (Kg) : 1.93

Rendimiento:

| PRODUCTO | % | RESIDUO | % |
|-----------|--------------|-----------|-------------|
| Biodiesel | 96.16 | Glicerina | 3.84 |

Interpretación de Resultados:

- Al realizar la elaboración del Biodiesel se obtuvo un índice de acidez de 0.60, teniendo un índice de acidez muy bajo, esto facilita el rendimiento en la producción del biodiesel. Se obtuvo un 96.16% de biodiesel, teniendo un óptimo resultado.
- La producción de glicerina se dio en un 3.84%.

3.1.3. Determinación de emisiones:

Se obtuvieron los siguientes resultados:

3.1.3.1. Mediciones del CO

- a) Los resultados de las mediciones para el CO, tomando en cuenta los parámetros antes mencionados, son los siguientes:

Tabla N°01: Resultados de CO

| Cocentración | Nivel de aceleración | N° de mediciones | CO (Monóxido de carbono) en ppm | | | | |
|--------------|----------------------|------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min |
| B-5 | 1 | 1 | 248.0 | 179.0 | 162.0 | 154.0 | 165.0 |
| | | 2 | 240.0 | 180.0 | 172.0 | 171.0 | 169.0 |
| | | 3 | 255.0 | 182.0 | 176.0 | 170.0 | 169.0 |
| | 2 | 1 | 185.0 | 148.0 | 132.0 | 118.0 | 117.0 |
| | | 2 | 185.0 | 150.0 | 140.0 | 104.0 | 110.0 |
| | | 3 | 190.0 | 142.0 | 130.0 | 125.0 | 125.0 |
| B-25 | 1 | 1 | 134.0 | 132.0 | 127.0 | 118.0 | 119.0 |
| | | 2 | 128.0 | 128.0 | 122.0 | 114.0 | 112.0 |
| | | 3 | 134.0 | 125.0 | 124.0 | 110.0 | 110.0 |
| | 2 | 1 | 138.0 | 128.0 | 127.0 | 122.0 | 117.0 |
| | | 2 | 127.0 | 128.0 | 127.0 | 125.0 | 118.0 |
| | | 3 | 130.0 | 126.0 | 122.0 | 122.0 | 115.0 |
| B-50 | 1 | 1 | 125.0 | 117.0 | 116.0 | 100.0 | 99.0 |
| | | 2 | 122.0 | 116.0 | 114.0 | 110.0 | 103.0 |
| | | 3 | 127.0 | 120.0 | 115.0 | 112.0 | 111.0 |
| | 2 | 1 | 123.0 | 117.0 | 110.0 | 111.0 | 112.0 |
| | | 2 | 120.0 | 116.0 | 115.0 | 112.0 | 110.0 |
| | | 3 | 122.0 | 118.0 | 117.0 | 116.0 | 116.0 |
| B-100 | 1 | 1 | 84.0 | 79.0 | 87.0 | 82.0 | 84.0 |
| | | 2 | 83.0 | 84.0 | 82.0 | 80.0 | 79.0 |
| | | 3 | 81.0 | 83.0 | 80.0 | 86.0 | 81.0 |
| | 2 | 1 | 88.0 | 87.0 | 86.0 | 85.0 | 83.0 |
| | | 2 | 84.0 | 76.0 | 90.0 | 79.0 | 84.0 |
| | | 3 | 83.0 | 81.0 | 80.0 | 82.0 | 83.0 |

- b) Para poder simplificar el trabajo comparativo se sacó el promedio aritmético de los datos, siendo los resultados los siguientes.

Tabla N°02: Resultados promedios de CO

| Cocentración | Nivel de aceleración | Promedio | CO (Monóxido de carbono) en ppm | | | | |
|--------------|----------------------|----------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min |
| B-5 | 1 | Prom. | 247.7 | 180.3 | 170.0 | 165.0 | 167.7 |
| | 2 | Prom. | 186.67 | 146.7 | 134.0 | 115.7 | 117.3 |
| B-25 | 1 | Prom. | 132.0 | 128.3 | 124.3 | 114.0 | 113.7 |
| | 2 | Prom. | 131.67 | 127.3 | 125.3 | 123.0 | 116.7 |
| B-50 | 1 | Prom. | 124.7 | 117.7 | 115.0 | 107.3 | 104.3 |
| | 2 | Prom. | 121.67 | 117.0 | 114.0 | 113.0 | 112.7 |
| B-100 | 1 | Prom. | 82.7 | 82.0 | 83.0 | 82.7 | 81.3 |
| | 2 | Prom. | 85 | 81.3 | 85.3 | 82.0 | 83.3 |

c) Interpretación de resultados:

- Se tomó como grupo control al B5 (95% diesel y 5% biodiesel) y como principal dato de comparación al arranque del motor en nivel de aceleración 1 (ARR en los primeros 5 min de funcionamiento) para todos los cortes con el mismo nivel de aceleración, a partir del cual vamos a conocer las diferencias comparativas para los diferentes cortes del biodiesel.
- Se elaboró un nuevo cuadro con los porcentajes de cambio en el tiempo de funcionamiento del motor que son comparados con el arranque (ARR) del B5 con el mismo nivel de aceleración, siendo el cuadro el siguiente:

Tabla N°03: COMPARATIVO DEL CO EN %

| Cocentración | Nivel de aceleración | Promedio | CO (Monóxido de carbono) en ppm | | | | | Cocentración | Nivel de aceleración | % de Cambio | CO (Monóxido de carbono) | | | |
|--------------|----------------------|----------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------------|----------------------|-------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | | | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | | | | | Base 1 hora | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min | | | | ARR - 15 min | ARR - 30 min | ARR - 45 min | ARR - 60 min |
| B-5 | 1 | Prom. | 247.7 | 180.3 | 170.0 | 165.0 | 167.7 | B-5 | 1 | % | -27.2 | -31.4 | -33.4 | -32.3 |
| | 2 | Prom. | 186.67 | 146.7 | 134.0 | 115.7 | 117.3 | | 2 | % | -21.4 | -28.2 | -38.0 | -37.1 |
| B-25 | 1 | Prom. | 132.0 | 128.3 | 124.3 | 114.0 | 113.7 | B-25 | 1 | % | -48.2 | -49.8 | -54.0 | -54.1 |
| | 2 | Prom. | 131.67 | 127.3 | 125.3 | 123.0 | 116.7 | | 2 | % | -31.8 | -32.9 | -34.1 | -37.5 |
| B-50 | 1 | Prom. | 124.7 | 117.7 | 115.0 | 107.3 | 104.3 | B-50 | 1 | % | -52.5 | -53.6 | -56.7 | -57.9 |
| | 2 | Prom. | 121.67 | 117.0 | 114.0 | 113.0 | 112.7 | | 2 | % | -37.3 | -38.9 | -39.5 | -39.6 |
| B-100 | 1 | Prom. | 82.7 | 82.0 | 83.0 | 82.7 | 81.3 | B-100 | 1 | % | -66.9 | -66.5 | -66.6 | -67.2 |
| | 2 | Prom. | 85 | 81.3 | 85.3 | 82.0 | 83.3 | | 2 | % | -56.4 | -54.3 | -56.1 | -55.4 |

○ **Diferencias comparativas para en B5.**

- La concentración entre el ARR y los 15 min de funcionamiento en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en un 27.2% (67.4 ppm) y a partir de los 30 min de funcionamiento la disminución se vuelve constante, siendo la mayor disminución a los 45 min de funcionamiento con un 33.4 % (82.7 ppm), su tendencia se ve graficada en el ANEXO 2.
- La concentración entre el ARR y los 15 min de funcionamiento en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en un 21.4% (39.97 ppm), a los 30 min disminuye 28.2% (52.67 ppm) y a partir de los 45 min la disminución se vuelve constante, siendo la mayor disminución a los 45 min con un 38% (70.97 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 2.

○ **Diferencias comparativas del B25 con el ARR del B5.**

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15min de funcionamiento con el B25 en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en 48% (119.4 ppm) y a partir de ello la diferencia es menor del 5% por lo que la disminución se mantiene constante a partir de los 15 min, siendo la mayor disminución a los 60 min con 54.1% (134 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 3
- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento del B25 en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en 31.8% (59.4 ppm), a la media hora de funcionamiento disminuye 32.9% (61.37 ppm), y a partir de ello la diferencia es menor al 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la

mayor disminución a los 60 min con 37.5 % (69.97 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 3

○ **Diferencia comparativas del B50 con el ARR del B5.**

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B50 en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en 52.5% (123 ppm), a partir de ello la diferencia es menor al 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los 60 min con 57.9% (143.4 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 4.
- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B50 en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en 37.3% (69.67 ppm), a partir de ello la diferencia es menor al 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los 60 min con 39.6% (74 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 4.

○ **Diferencia comparativa del B100 con el ARR del B5.**

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B100 en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en 66.9% (165.7 ppm), a partir de ello la diferencia es menor al 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los 60 min con 67.2% (166.4 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 5.
- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B100 en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en 56.4% (105.37 ppm), a

partir de ello la diferencia es menor al 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los 15 min, su tendencia se grafica en el ANEXO 5.

3.1.3.1. Mediciones del SO₂

- a) Los resultados de las mediciones para el SO₂, tomando en cuenta los parámetros antes mencionados, son los siguientes:

Tabla N°04: Resultados de SO₂

| Cocentración | Nivel de aceleración | N° de mediciones | SO ₂ | | | | |
|--------------|----------------------|------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min |
| B-5 | 1 | 1 | 2.9 | 2.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| | | 2 | 2.9 | 2.7 | 1.3 | 1.1 | 1.1 |
| | | 3 | 2.6 | 2.3 | 1.4 | 1.0 | 0.9 |
| | 2 | 1 | 1.8 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 0.8 |
| | | 2 | 1.7 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| | | 3 | 1.7 | 1.0 | 1.1 | 0.9 | 0.9 |
| B-25 | 1 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 0.8 |
| | | 2 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 0.9 |
| | | 3 | 1.2 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 0.7 |
| | 2 | 1 | 1.1 | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 1.1 |
| | | 2 | 1.3 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| | | 3 | 1.1 | 0.8 | 0.9 | 0.7 | 0.5 |
| B-50 | 1 | 1 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| | | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| | | 3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| | 2 | 1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| | | 2 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.0 |
| | | 3 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.0 |
| B-100 | 1 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | 3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 2 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | 3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

- b) Para poder simplificar el trabajo comparativo se sacó el promedio aritmético de los datos, siendo los resultados los siguientes.

Tabla N°05: Resultados promedios de SO₂

| Cocentración | Nivel de aceleración | Promedio | SO ₂ | | | | |
|--------------|----------------------|----------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min |
| B-5 | 1 | Prom. | 2.8 | 2.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| | 2 | Prom. | 1.7333 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 0.9 |
| B-25 | 1 | Prom. | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.8 |
| | 2 | Prom. | 1.15 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B-50 | 1 | Prom. | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 |
| | 2 | Prom. | 0.1333 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.0 |
| B-100 | 1 | Prom. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 2 | Prom. | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

c) Interpretación de resultados:

- Se tomó como grupo control al B5 (95% diesel y 5% biodiesel) y como principal dato de comparación al arranque del motor en nivel de aceleración 1 (ARR en los primeros 5 min de funcionamiento) para todos los cortes con el mismo nivel de aceleración, a partir del cual vamos a conocer las diferencias comparativas para los diferentes cortes del biodiesel.
- Se elaboró un nuevo cuadro con los porcentajes de cambio en el tiempo de funcionamiento del motor que son comparados con el arranque (ARR) del B5 con el mismo nivel de aceleración, siendo el cuadro el siguiente:

Tabla N°06: COMPARATIVO DEL SO₂ EN %

| Cocentración | Nivel de aceleración | Promedio | SO2 | | | | | Cocentración | Nivel de aceleración | % de Cambio | SO2 | | | |
|--------------|----------------------|----------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------------|----------------------|-------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | | | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | | | | | Base 1 hora | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min | | | | ARR - 15 min | ARR - 30 min | ARR - 45 min | ARR - 60 min |
| B-5 | 1 | Prom. | 2.8 | 2.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | B-5 | 1 | % | -11.9 | -53.0 | -61.9 | -64.3 |
| | 2 | Prom. | 1.7333 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | | 2 | % | -39.4 | -32.7 | -38.5 | -48.1 |
| B-25 | 1 | Prom. | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | B-25 | 1 | % | -60.1 | -65.5 | -66.7 | -71.8 |
| | 2 | Prom. | 1.15 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | | 2 | % | -47.1 | -51.9 | -55.8 | -52.9 |
| B-50 | 1 | Prom. | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | B-50 | 1 | % | -93.5 | -92.9 | -100.0 | -100.0 |
| | 2 | Prom. | 0.1333 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | | 2 | % | -96.2 | -86.2 | -88.5 | -100.0 |
| B-100 | 1 | Prom. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | B-100 | 1 | % | -100.0 | -100.0 | -100.0 | -100.0 |
| | 2 | Prom. | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | 2 | % | -100.0 | -100.0 | -100.0 | -100.0 |

○ **Diferencias comparativas para en B5.**

- La concentración entre el ARR y los 15 min de funcionamiento en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en un 11.9% (0.3 ppm), a los 30 min disminuye 53.0% (1.5 ppm), a los 45 min disminuye 61.9 (1.7 ppm) y a partir de ellos la diferencia es menos del 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los 60 min de funcionamiento con un 64.3 % (1.8 ppm), su tendencia se ve graficada en el ANEXO 6.
- La concentración entre el ARR y los 15 min de funcionamiento en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en un 39.4% (0.6 ppm), a los 30 min disminuye 32.7% (0.5 ppm), a los 45 min disminuye 38.5% (0.6 ppm) y a los 60 min disminuye 48.1% (0.8 ppm) no siendo constante la disminución en porcentajes pero en concentración a ppm la diferencia es menor al 0.6 entre mediciones., su tendencia se grafica en el ANEXO 6.

○ **Diferencias comparativas del B25 con el ARR del B5.**

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15min de funcionamiento con el B25 en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en 60.1% (1.7 ppm), a los 30 min disminuye 65.5% (1.8 ppm), a los 45 min disminuye 66.7% (1.1 ppm) y a partir de ello la diferencia es menor del 5% por lo que la disminución se mantiene constante a parir de los 15 min, siendo la mayor disminución a los 60 min con 71.8% (1.0 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 7.

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento del B25 en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en 47.1% (0.58 ppm), a los 30 min disminuye 51.9% (0.9 ppm), y a partir de ello la diferencia es menor al 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los 45 min con 55.8 % (0.92 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 7.
- **Diferencia comparativas del B50 con el ARR del B5.**
 - La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B50 en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en 93.5% (2.6 ppm), a los 30 min disminuye 92.9% (2.58 ppm), a partir de ello la el motor no emite SO_2 por el tubo de escape, su tendencia se grafica en el ANEXO 8.
 - La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B50 en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en 96.2% (2.7 ppm) a los 30 min disminuye 86.2% (2.58 ppm), a partir de ello la diferencia es menor al 5% por lo que la disminución se mantiene constante hasta los 45 min y luego no se tienen emisiones de SO_2 , su tendencia se grafica en el ANEXO 8.
- **Diferencia comparativa del B100 con el ARR del B5.**
 - La concentración entre el ARR del B5 y a los 60 min de funcionamiento con el B100 en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en 100%, su tendencia se grafica en el ANEXO 9.

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B100 en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en 100%, su tendencia se grafica en el ANEXO 9.

3.1.3. Mediciones del NO₂

- a) Los resultados de las mediciones para el NO₂, tomando en cuenta los parámetros antes mencionados, son los siguientes:

Tabla N°07: Resultados de NO₂

| Cocentración | Nivel de aceleración | N° de mediciones | NO ₂ | | | | |
|--------------|----------------------|------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min |
| B-5 | 1 | 1 | 10.5 | 10.0 | 11.0 | 10.8 | 10.9 |
| | | 2 | 10.7 | 10.3 | 9.0 | 8.8 | 8.9 |
| | | 3 | 10.9 | 10.0 | 9.0 | 9.0 | 9.2 |
| | 2 | 1 | 9.3 | 9.1 | 5.3 | 5.5 | 5.4 |
| | | 2 | 9.6 | 9.0 | 7.8 | 7.4 | 7.4 |
| | | 3 | 9.2 | 7.3 | 6.7 | 5.1 | 5.2 |
| B-25 | 1 | 1 | 8.0 | 7.6 | 7.0 | 7.0 | 6.8 |
| | | 2 | 7.7 | 7.5 | 7.2 | 7.0 | 6.5 |
| | | 3 | 7.8 | 8.1 | 7.0 | 7.0 | 8.1 |
| | 2 | 1 | 9.8 | 8.5 | 7.0 | 6.0 | 6.0 |
| | | 2 | 8.9 | 8.0 | 6.2 | 6.0 | 6.2 |
| | | 3 | 9.2 | 6.8 | 6.0 | 6.5 | 6.3 |
| B-50 | 1 | 1 | 12.5 | 12.4 | 12.0 | 10.7 | 9.8 |
| | | 2 | 12.6 | 12.0 | 11.2 | 10.5 | 10.6 |
| | | 3 | 11.5 | 11.0 | 11.2 | 10.8 | 11.0 |
| | 2 | 1 | 11.8 | 11.0 | 10.2 | 10.0 | 8.6 |
| | | 2 | 11.8 | 12.0 | 10.8 | 9.7 | 10.0 |
| | | 3 | 11.6 | 11.2 | 9.8 | 9.0 | 10.0 |
| B-100 | 1 | 1 | 14.0 | 11.7 | 11.9 | 11.5 | 11.9 |
| | | 2 | 15.0 | 13.8 | 13.6 | 13.0 | 12.8 |
| | | 3 | 14.7 | 13.4 | 12.6 | 12.0 | 11.8 |
| | 2 | 1 | 14.5 | 13.6 | 13.2 | 11.0 | 10.9 |
| | | 2 | 13.8 | 13.7 | 13.9 | 12.6 | 11.2 |
| | | 3 | 13.7 | 12.6 | 12.2 | 11.7 | 10.9 |

- b) Para poder simplificar el trabajo comparativo se sacó el promedio aritmético de los datos, siendo los resultados los siguientes.

Tabla N°08: Resultados promedios de NO₂

| Concentración | Nivel de aceleración | Promedio | NO ₂ | | | | |
|---------------|----------------------|----------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min |
| B-5 | 1 | Prom. | 10.7 | 10.1 | 9.7 | 9.5 | 9.7 |
| | 2 | Prom. | 9.4 | 8.5 | 6.6 | 6.0 | 6.0 |
| B-25 | 1 | Prom. | 7.8 | 7.7 | 7.1 | 7.0 | 7.1 |
| | 2 | Prom. | 9.3 | 7.8 | 6.4 | 6.2 | 6.2 |
| B-50 | 1 | Prom. | 12.2 | 11.8 | 11.5 | 10.7 | 10.5 |
| | 2 | Prom. | 11.7 | 11.4 | 10.3 | 9.6 | 9.5 |
| B-100 | 1 | Prom. | 14.6 | 13.0 | 12.7 | 12.2 | 12.2 |
| | 2 | Prom. | 14.0 | 13.3 | 13.1 | 11.8 | 11.0 |

c) Interpretación de resultados:

- Se tomó como grupo control al B5 (95% diesel y 5% biodiesel) y como principal dato de comparación al arranque del motor en nivel de aceleración 1 (ARR en los primeros 5 min de funcionamiento) para todos los cortes con el mismo nivel de aceleración, a partir del cual vamos a conocer las diferencias comparativas para los diferentes cortes del biodiesel.
- Se elaboró un nuevo cuadro con los porcentajes de cambio en el tiempo de funcionamiento del motor que son comparados con el arranque (ARR) del B5 con el mismo nivel de aceleración, siendo el cuadro el siguiente:

Tabla N°09: COMPARATIVO DEL NO₂ EN %

| Cocentració n | Nivel de aceleración | Promed io | NO2 | | | | | Cocentració n | Nivel de aceleración | % de Cambio | NO2 | | | |
|------------------|-------------------------|--------------|------------------|--------|--------|--------|--------|------------------|-------------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | | | | | | UNIDAD DE TIEMPO | | | |
| | | | Base 1 hora | | | | | | | | Base 1 hora | | | |
| | | | ARR | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min | | | | ARR - 15 min | ARR - 30 min | ARR - 45 min | ARR - 60 min |
| B-5 | 1 | Prom. | 10.7 | 10.1 | 9.7 | 9.5 | 9.7 | B-5 | 1 | % | -5.6 | -9.7 | -10.9 | -9.7 |
| | 2 | Prom. | 9.4 | 8.5 | 6.6 | 6.0 | 6.0 | | 2 | % | -9.6 | -29.5 | -35.9 | -35.9 |
| B-25 | 1 | Prom. | 7.8 | 7.7 | 7.1 | 7.0 | 7.1 | B-25 | 1 | % | -27.7 | -34.0 | -34.6 | -33.3 |
| | 2 | Prom. | 9.3 | 7.8 | 6.4 | 6.2 | 6.2 | | 2 | % | -17.1 | -31.7 | -34.2 | -34.2 |
| B-50 | 1 | Prom. | 12.2 | 11.8 | 11.5 | 10.7 | 10.5 | B-50 | 1 | % | 10.3 | 7.2 | -0.3 | -2.2 |
| | 2 | Prom. | 11.7 | 11.4 | 10.3 | 9.6 | 9.5 | | 2 | % | 21.7 | 9.6 | 2.1 | 1.8 |
| B-100 | 1 | Prom. | 14.6 | 13.0 | 12.7 | 12.2 | 12.2 | B-100 | 1 | % | 21.2 | 18.7 | 13.7 | 13.7 |
| | 2 | Prom. | 14.0 | 13.3 | 13.1 | 11.8 | 11.0 | | 2 | % | 42.0 | 39.9 | 25.6 | 17.4 |

○ **Diferencias comparativas para en B5.**

- La concentración entre el ARR a los 15 min de funcionamiento en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en un 5.6% (0.6 ppm), a los 30 min disminuye 9.7% (1.0 ppm), y a partir de ellos la diferencia es menos del 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los 645 min de funcionamiento con un 10.9 % (0.8 ppm), su tendencia se ve graficada en el ANEXO 10.
- La concentración entre el ARR a los 15 min de funcionamiento en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en un 9.6% (0.9 ppm), a los 30 min disminuye 29.5% (2.8 ppm), a los 45 y 60 min disminuye 35.9% (3.4 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 10.

○ **Diferencias comparativas del B25 con el ARR del B5.**

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15min de funcionamiento con el B25 en el primer nivel de aceleración (1) disminuye en 27.7% (3.0 ppm), a los 30 min disminuye 34% (3.6 ppm), y a partir de ello la diferencia es menor del 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los 45 min con 71.8% (3.7 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 11.
- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento del B25 en el segundo nivel de aceleración (2) disminuye en 17.1% (1.6 ppm), a los 30 min disminuye 31.7% (3.0 ppm), y a partir de ello la diferencia es menor al 5% por lo que la disminución se mantiene constante, siendo la mayor disminución a los

45 min con 34.2 % (3.2 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 11.

○ **Diferencia comparativas del B50 con el ARR del B5.**

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B50 en el primer nivel de aceleración (1) aumenta en 10.3% (1.1 ppm), a los 30 min aumenta 7.2% (0.8 ppm), a los 45 min disminuye 0.3 (10.63 ppm) a los 60 min disminuye 2.2 (0.2 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 12.
- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B50 en el segundo nivel de aceleración (2) aumenta en 21.7% (2.7 ppm) a los 30 min aumenta 9.6% (0.9 ppm), a los 45 min aumenta 2.1% (0.2 ppm), a los 60 min aumenta 1.8% (0.1 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 12.

○ **Diferencia comparativa del B100 con el ARR del B5.**

- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B100 en el primer nivel de aceleración (1) aumenta en 21.2% (2.3 ppm), a los 30 min aumenta en 18.7% (2.0 ppm), a los 45 min aumenta en 13.7% (1.5 ppm), a partir de ello se mantiene constante, su tendencia se grafica en el ANEXO 13.
- La concentración entre el ARR del B5 y a los 15 min de funcionamiento con el B100 en el segundo nivel de aceleración (2) aumenta en 42% (2.6 ppm), a los 30 min aumenta 39.9% (2.4 ppm), a los 45 min aumenta

25.6% (1.1 ppm) y a los 60 min aumenta 17.4% (0.3 ppm), su tendencia se grafica en el ANEXO 13.

3.1.4. Mediciones de consumo

- a) El consumo se midió por cada 30 min de funcionamiento, también por cada corte de biodiesel y por nivel de aceleración, los resultados son los siguientes:

Tabla N°10: Resultados de Consumo

| Cocentración | Nivel de aceleración | N° de mediciones | CONSUMO (L) | |
|--------------|----------------------|------------------|-------------|--------|
| | | | 30 min | 60 min |
| B-5 | 1 | 1 | 1.270 | 1.250 |
| | | 2 | 1.125 | 1.250 |
| | | 3 | 1.125 | 1.250 |
| | 2 | 1 | 1.750 | 1.125 |
| | | 2 | 2.375 | 1.125 |
| | | 3 | 1.125 | 1.000 |
| B-25 | 1 | 1 | 1.925 | 1.000 |
| | | 2 | 0.925 | 0.825 |
| | | 3 | 1.875 | 0.825 |
| | 2 | 1 | 1.375 | 1.375 |
| | | 2 | 1.325 | 1.300 |
| | | 3 | 1.270 | 1.270 |
| B-50 | 1 | 1 | 1.250 | 1.250 |
| | | 2 | 1.250 | 1.250 |
| | | 3 | 1.250 | 1.250 |
| | 2 | 1 | 1.375 | 1.250 |
| | | 2 | 1.450 | 1.375 |
| | | 3 | 1.250 | 1.350 |
| B-100 | 1 | 1 | 1.375 | 1.375 |
| | | 2 | 1.375 | 1.375 |
| | | 3 | 1.375 | 1.375 |
| | 2 | 1 | 1.375 | 1.375 |
| | | 2 | 1.375 | 1.375 |
| | | 3 | 1.375 | 1.375 |

- b) Posteriormente se obtuvo el promedio aritmético:

Tabla N°11: Resultados promedios de Consumo

| Cocentración | Nivel de aceleración | Promedio | CONSUMO (L) | |
|--------------|----------------------|----------|-------------|--------|
| | | | 30 min | 60 min |
| B-5 | 1 | Prom. | 1.173 | 1.250 |
| | 2 | Prom. | 1.750 | 1.083 |
| B-25 | 1 | Prom. | 1.575 | 0.883 |
| | 2 | Prom. | 1.323 | 1.315 |
| B-50 | 1 | Prom. | 1.250 | 1.250 |
| | 2 | Prom. | 1.358 | 1.325 |
| B-100 | 1 | Prom. | 1.375 | 1.375 |
| | 2 | Prom. | 1.375 | 1.375 |

c) Por últimos se obtuvo los siguientes consumos totales.

Tabla N°12: Resultados de Consumo totales

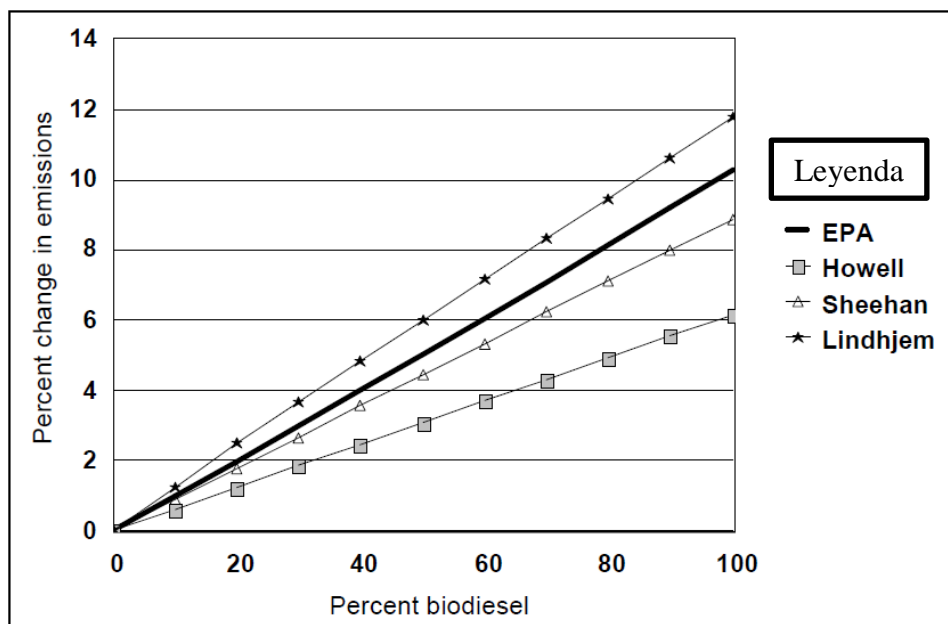
| Cocentración | Nivel de aceleración | CONSUMO (L) |
|--------------|----------------------|-------------|
| | | 60 min |
| B-5 | 1 | 2.423 |
| | 2 | 2.833 |
| B-25 | 1 | 2.458 |
| | 2 | 2.638 |
| B-50 | 1 | 2.500 |
| | 2 | 2.683 |
| B-100 | 1 | 2.750 |
| | 2 | 2.750 |

En el ANEXO 14 de adjunta el cuadro resumen de lo anteriormente mencionado.

3.2 DISCUSIONES

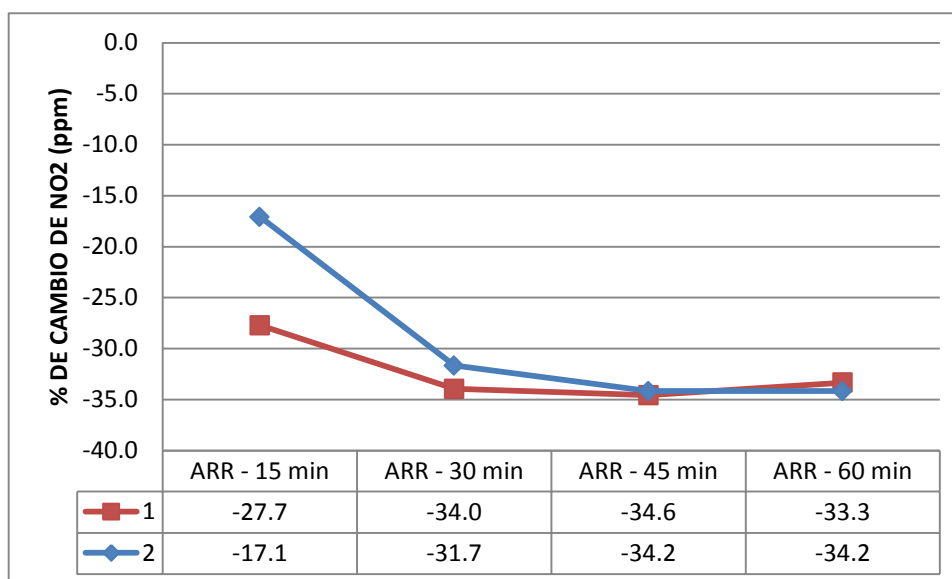
Los resultados obtenidos nos brindan valiosa información las cuales con las técnicas usadas se podrían comparar sin ningún inconveniente con estudios anteriores como por ejemplo:

- En las emisiones del NO_2 , se cuenta con estudios de diferentes fuentes, las cuales diferencias las emisiones del NO_2 en porcentaje de cambio, al igual que en el presente proyecto de tesis, los cuadros comparativos se muestran a continuación:



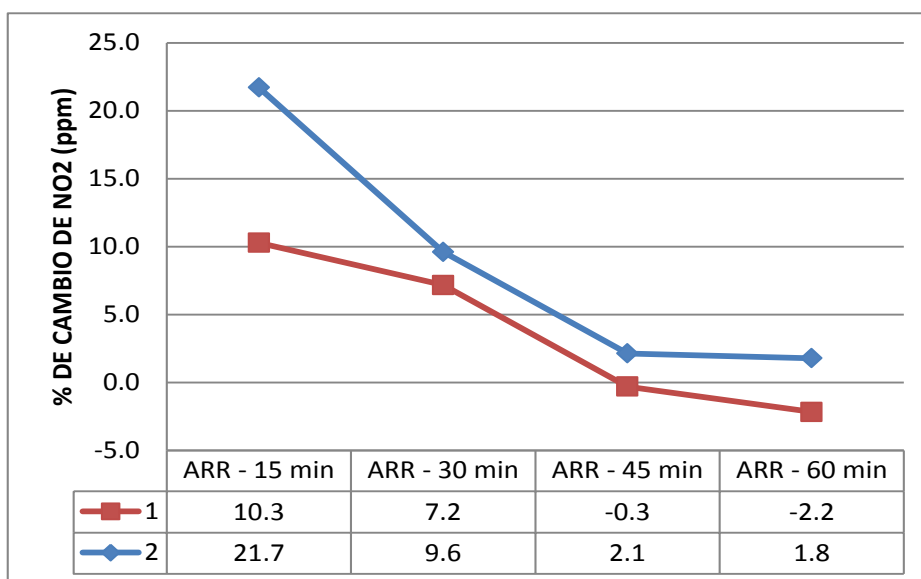
Fuente: EPA (Environmental Protection Agency), 2008

- Los resultados del presente proyecto de tesis es el siguiente:
- ✓ Para el 25% de biodiesel, tomaremos como resultado de comparación al obtenido a los 60 min de funcionamiento.

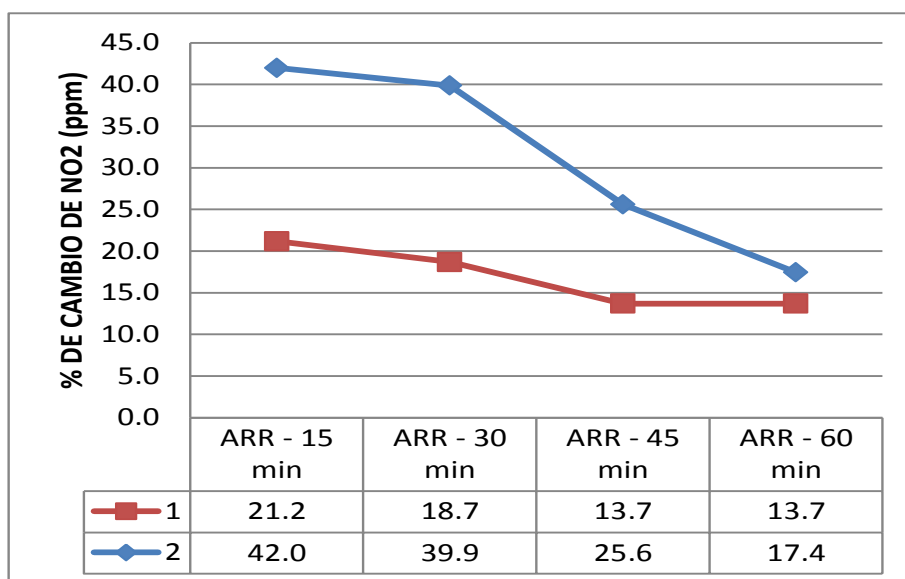
Grafico N° 02: Resultados al 25% de NO₂

- Se obtuvo en el resultado una disminución en la emisión del NO₂ en 33.3 y 34.2 % para el primer y segundo nivel de aceleración respectivamente, lo cual se opone a los resultados obtenidos en los estudios anteriores en más de 30%. Este resultado puede variar por el estado del motor, es muy posible que los mantenimientos constantes del motor se obtengan estos resultados y esto también coincide con la bibliografía mencionada en el marco teórico.

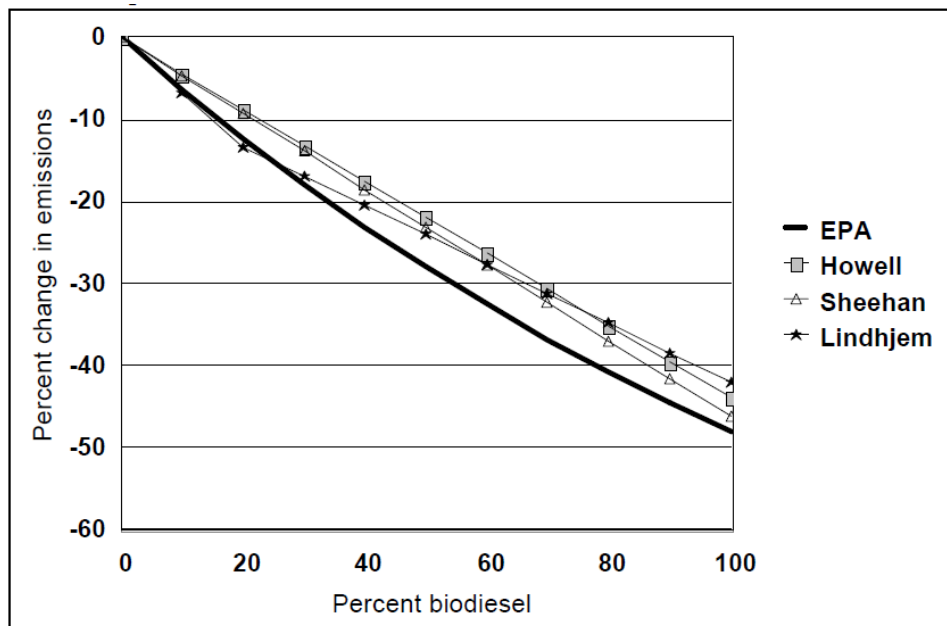
- ✓ Para el 50% de biodiesel, tomaremos como resultado de comparación al obtenido a los 60 min de aceleración.

Grafico N° 03: Resultados al 50% de NO₂

- En el primer nivel de aceleración se obtuvo una disminución de 2.2% lo cual también se opone a los resultados obtenidos en los estudios anteriores. En el segundo nivel de aceleración se registró un aumento de 1.8 %, lo cual tiene una diferencia de 1.2% con Howell, de 2.7% con Sheehan, de 4.2% con Lindhjem y de 3.2 con la EPA, las diferencias no son mayores del 5% por lo cual los resultados son muy parecidos.
- ✓ Para el 100% de biodiesel, tomando como resultado de comparación al obtenido a los 60 min de funcionamiento.

Grafico N° 04: Resultados al 100% de NO₂

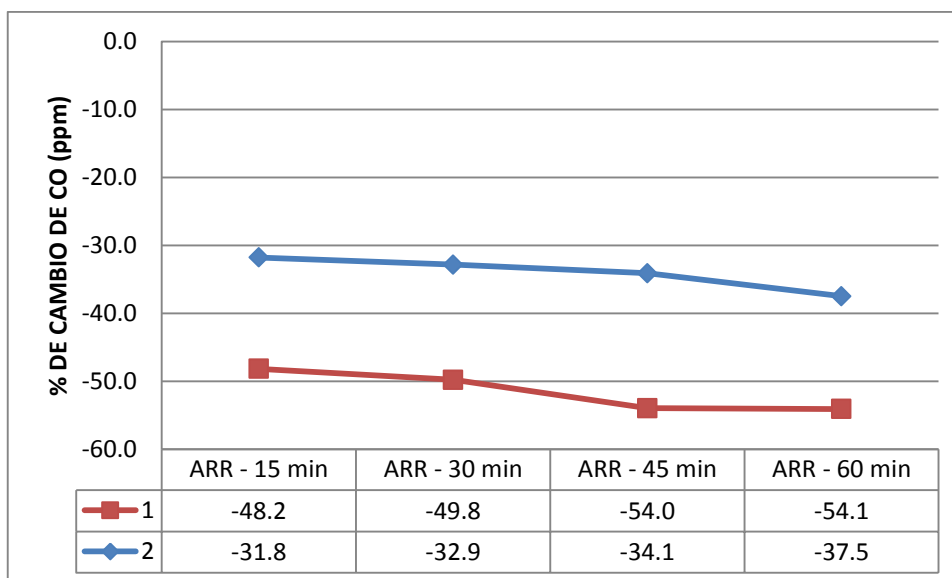
- En el primer nivel de aceleración se registró un aumento de 13.7%, lo cual tiene una diferencia de 7.7% con Howell, de 4.7% con Sheehan, de 1.7% con Lindhjem y de 3.2 con la EPA, los resultados son muy parecidos al de Lindhjem. En el segundo nivel de aceleración se registró un aumento de 17.4, lo cual se opone en más de 5% a los estudios anteriores, esto se debe a que el motor estuvo funcionando en un nivel más alto de aceleración y por ende el motor se encuentra en su combustión más eficiente y las revoluciones son mayores, pero debido a la composición y naturaleza del biodiesel al 100% en las condiciones ya mencionadas tiende a emitir mayor concentración de NO₂ hacia el medio ambiente.
- En las emisiones del CO, se cuenta con estudios de diferentes fuentes, las cuales diferencias las emisiones del CO en porcentaje de cambio, al igual que en el presente proyecto de tesis, los cuadros comparativos se muestran a continuación:



Fuente: EPA (Environmental Protection Agency), 2008.

- Los resultados del presente proyecto de tesis es el siguiente:
 - ✓ Para el 25% de biodiesel, tomaremos como resultado de comparación al obtenido a los 60 min de funcionamiento.

Grafico N° 05: Resultados al 25% de CO

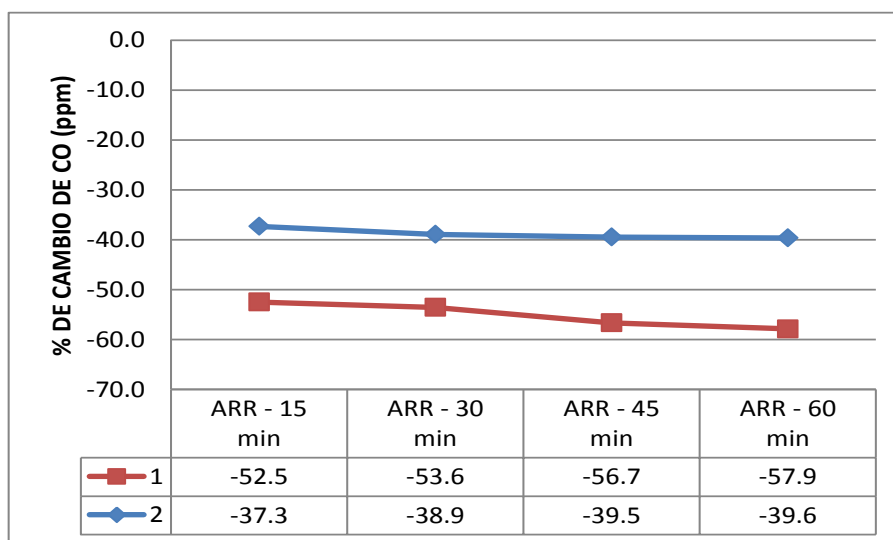


- En el primer nivel de aceleración se registra una disminución de 54.1%, lo cual se opone en más de 40% a los estudios anteriores, en el segundo nivel

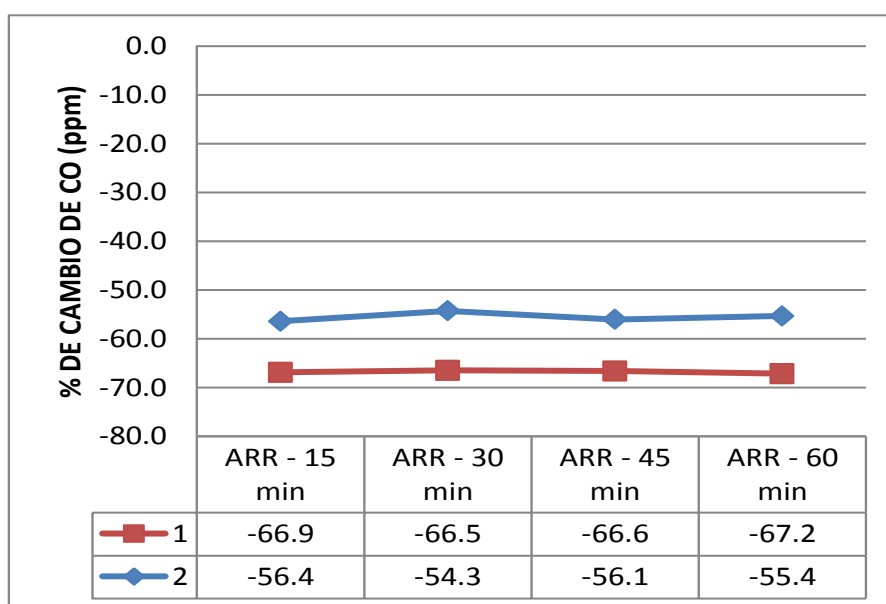
de aceleración se opone en más del 23%, presentándose en los dos casos (1 y 2) una menor concentración del CO en las emisiones del motor.

- ✓ Para el 50% de biodiesel, tomaremos como resultado de comparación al obtenido en los 60min de funcionamiento.

Grafico N° 06: Resultados al 50% de CO



- En el primer nivel de aceleración se registra una disminución de 57.9%, lo cual se opone en más del 29% con los estudios anteriores, en el segundo nivel de aceleración se registran una disminución de 39.6% lo cual se opone en más de 14% a los estudios anteriores, presentándose nuevamente en los dos casos (1y 2) una mayor disminución en la concentración de CO en las emisiones del motor.
- ✓ Para el 100% de biodiesel, tomaremos como resultado de comparación al obtenido a los 60 min de funcionamiento.

Grafico N° 07: Resultados al 100% de CO

- En el primer nivel de aceleración se registra una disminución de 67.2%, lo cual se opone en más del 19% con los estudios anteriores, en el segundo nivel de aceleración se registran una disminución de 55.4% lo cual se opone en más de 7% a los estudios anteriores, presentándose nuevamente en los dos casos (1 y 2) una mayor disminución en la concentración de CO en las emisiones del motor.
- Las emisiones del SO₂ del presente proyecto coinciden con las bibliografías mencionadas en el marco teórico y referencias bibliográficas la cual cita a autores e instituciones como Albarracin A. Pedro, Barriga R. Alfredo, Díaz F. Rodrigo, CCICEV: Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares; que citan que la emisión de SO₂ se disminuye en 100% con la utilización del biodiesel puro (100%)

3.3 CONCLUSIONES

1. La rentabilidad de la elaboración del biodiesel (B100) es mayor, ya que con el siguiente proyecto de tesis el costo de dicha elaboración es de S/. 7.73 por galón y el costo del diésel (B5) es de S/. 14.2, este resultado se obtiene con la venta de la glicerina la cual es requerida por la industria del maquillaje la cual tiene un precio de compra de S/. 6.00 por litro, lo cual hace que el costo de elaboración del biodiesel se vea disminuido haciendo una diferencia de 54.4% respecto al diésel.

La rentabilidad obtenida solo se ve reflejada para la elaboración de grandes cantidades de biodiesel.

Desde el punto de vista económico el uso del biodiesel es 100% rentable, ya que su elaboración por galón es mucho menor que el costo actual del diesel, y con la producción a mediana y gran escala y con la venta o procesamiento de la glicerina este costo se vería aún más disminuido.

2. La relación existente entre la cantidad de aceite reciclado y la cantidad de biodiesel producido está condicionado al índice de acidez del aceite reciclado, esto quiere decir que si el índice es elevado la cantidad de biodiesel producido va a ser menor y viceversa haciendo que sea una relación inversamente proporcional. En el presente proyecto se obtuvo un índice de acidez de 0.6, lo cual favoreció a la cantidad de biodiesel obtenido llegando a un rendimiento del 96.16% y a un 3.84% de glicerina
3. En los análisis efectuados a los gases productos de la combustión de las distintas mezclas en el funcionamiento del motor se pudo establecer que: En las emisiones de CO, SO₂ y NO₂ se pudo detectar que cuando el motor trabaja a mayor revolución estas son menores que cuando trabajan a menor revolución (Nivel de aceleración 1 y 2), obteniendo las siguiente conclusiones:
 - 3.1. Las emisiones de NO₂ al 25% de biodiesel del presente proyecto de tesis son menores a los resultados obtenidos en estudios anteriores realizados por instituciones como la EPA (Environmental Protection Agency), esto es debido al mantenimiento continuo que se le dio al motor para cada una de las

mediciones, lo cual se refiere a la limpieza del filtro, cambios de aceite, carga de batería, limpieza de anillos, etc. Lo cual también ayudo a que los resultados del CO y SO₂ también resulten menores a los estudios anteriores.

3.2.Las emisiones de NO₂ y SO₂ al 50% de biodiesel son muy parecidos a los resultados de estudios anteriores realizados por instituciones como la EPA, caso contrario las emisiones del CO del presente proyecto son mucho menor a los obtenidos por los estudios anteriores, esto debido al mantenimiento continuo del motor.

3.3.Las emisiones del NO₂ al 100% de biodiesel son muy parecidos a los estudios anteriores, las emisiones del SO₂ concuerda al 100% con los estudios anteriores y nuevamente las emisiones del CO del presente proyecto son menores a los estudios anteriores.

3.4.El uso del biodiesel disminuye notablemente las emisiones del SO₂ y CO, el biodiesel al 25% disminuye la emisión del NO₂ y el de 50 y 100% lo aumento, lo cual por el momento se ve compensado con la eliminación total de las emisiones de SO₂, ya que ambos gases son los precursores de la formación de lluvia ácida, esto hasta que se optimice la tecnología de los motores para evitar que se emita estos gases.

4. Las diferencias en las emisiones de contaminantes entre el uso del biodiesel y el diésel son notables, al usar biodiesel al 100% disminuye en un 50% las emisiones de CO y en un 100% las emisiones del SO₂ en comparación con el uso del diésel, caso contrario pasa con las emisiones de NO₂ la cual tiene un ligero aumento del 10% al usar el biodiesel comparado con el diésel convencional.

3.4 RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a la investigación realizada se recomienda la utilización del biodiesel al 25%, ya que la emisión de NO₂, SO₂ y CO se ve disminuido así como el consumo por tiempo de funcionamiento también se ve disminuido en comparación a las demás concentraciones.
2. Se recomienda realizar mantenimiento continuo a los motores de los automóviles para disminuir las emisiones de gases que aporten a la contaminación de la atmosfera.
3. Se recomienda continuar con la investigación en automóviles como camionetas, camiones, entre otros y hacer un comparativo con la legislación vigente en el Perú como las del extranjero.
4. Se recomienda realizar investigaciones en tecnologías que permitan que las emisiones de NO₂ del biodiesel se disminuyan con la utilización del biodiesel.
5. Se recomienda investigar el rendimiento y rentabilidad de la elaboración del biodiesel con diferentes materias primas (Piños, palma, aguaje, higuera, microalgas, etc) y compararlas con el aceite reciclado.
6. Se recomienda la utilización del aceite reciclado para la elaboración del biodiesel como materia prima principal para la elaboración del biodiesel, ya que se sustituiría los cultivos terrestres y usar dichas tierras para el cultivo de alimentos o reforestación.
7. Se recomienda realizar un estudio de factibilidad para la puesta en marcha de una planta de producción y venta de biodiesel en el Alto Mayo.
8. Se recomienda la incentivación de la investigación en tecnologías de energía renovable, como en biocombustibles, energía eólica, solar, hidráulica, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYN RAND, (2006). The Indean conection, in Machan, Tibor R, Ayn Rand at 100. Nwe Delhi, India: Pragum Publication. Pg 2-4, India.
- CALAIS P., CLARK A.R. (2000). Waste vegetable oils as a diesel replacement fuel. Perth, Australia: Murdoch University y Western Australian Renewable Fuels Association. <http://www.shortcircuit.com.au/warfa/paper/paper.htm>
- DE LA CRUZ, E. Y HUAMAN, J, (2003). Formación de Hidrocarburos aromáticos policíclicos y del 3,4-Benzopireno en aceites comestibles alterados por recalentamiento. [Tesis de Pre-Grado para obtener el título de Químico Farmacéutico]. Lima: departamento académico de Farmacología, Bromatología
- D. LORENA OCROSPOMA RAMÍREZ, Situación y perspectivas de los biocombustibles en el Perú // IICA – Lima : IICA, 2008. 79 p. ; 16.0 x 21.4 cm
- FEDELI, E.,(1998) Aspectos Físico Químicos del Proceso de Fritura [Abstract]. Grasas y Aceites N. 49(3-4), 261-264. Valencia, España.
- FLORES, M.(2011). Simultaneous determination of quality arameters of biodiesel/diesel blends using HATR-FTIR spectra and PLS, iPLS or siPLS regressions, Fuel.: 90, 701–706.
- GUARIEIRO L., A. PINTO P, FERNANDEZ., N, RIBEIRO;(2008) Metodologia analítica para quantificar o teor de biodiesel na mistura biodiesel/diesel utilizando espectroscopia na região do infravermelho, Quim Nova.: 31, 421–6.
- HELWANI, Z., M. OTHMAN., N. AZIZ., W. FERNANDO., J. KIM;(2009). Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review. Ful Process, Technology: 90, 1502-1514.
- JOSE STRATTA, (2000). Biocombustibles: Los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel, Agosto.
- KULKARN, M., A. DALAI;(2006). Waste cooking oils-an economical source for biodiesel: a review. Industrial & Engineering Chemistry.: 45, 2901-2913.
- LAWSON, H,(1994) Aceites y grasas alimentarios. Tecnología, utilización y nutrición. Zaragoza, España. Editorial Acribia;.

- LEUNY, D., X. WU., M. LEUNG, (2010) A review on biodiesel production using catalyzed transesterification, *Applied Energy*.: 87, 1083-1095.
- MARTICORENA, A., B, MANDAGARÁN., E, CAMPANELLA, (2010). Análisis del Impacto Ambiental de la recuperación de Metanol en la Producción de Biodiesel usando el Algoritmo de Reducción de Desechos WAR, *Información Tecnológica*.: 21(1), 23-30.
- MAURIZIO CASELLI, (2000), La contaminación atmosférica “Causas y fuentes. Efectos sobre el clima, la vegetación y los animales”, 6ta edición, Mexico.
- MEHLENBACHER, V.(1970). Análisis de aceites y Grasas. Enciclopedia de la Química industrial. 1era ed. España: Ediciones Urno.
- MORTIMER, CH. (1983). Química. Grupo editorial iberoamericana. México d. F.
- RAMOS, C. TARAZONA, G. (2001). Estudio de la estabilidad de las hojuelas fritas de papa durante el almacenamiento al medio ambiente. Lima, Perú: Análisis Científicos UNALM.
- TICKELL, JOSHUA. (2002). From the fryer to the fuel tank. Tickell Energy Consultans. Covington, U.S.A.
- VAN GERPEN J. (2005). «Biodiesel processing and production». *Fuel Processing Technology* 86: 1097–1107.
- WARK, KENNETH & CECIL F. WARNER. (1994). Contaminación del aire. Origen y Control. México: Editorial Limusa. p.22
- WANG, Y., S. OU, P. LIU, Z. ZHANG, (2007) Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed proces, *Energy Conversion and Management*.: 48, 184-188.
- ZHANG, Y. , DUBE, M.A., MC LEAN, D. Y KATES, M. (2003) Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis. Ottawa, Canada: *Bioresource Technology* 90. 229-240.

REFERENCIAS HEMEROGRAFICAS

- DIARIO EL PERUANO, 07/08/2003
- GTB-CONAM, 2003.
- GTB-CONAM. (2002). Propuesta para la promoción del uso de Biocombustibles en el Perú. Lima, Perú: CONAM.
- IPES, (2002). Proyecto Piloto demostrativo: Gestión Ambiental de los Aceites Usados. Documento de Sistematización del Programa APGEP-SEMREM. Convenio USAID-CONAM. Lima, Perú.
- Película: (2006) Una verdad incómoda. Al Gore. USA.

ANEXOS

ANEXO 01: PROCESO DE ELABORACION DE BIODIESEL**Proceso:**

- ✓ Recolección de Muestras.
- ✓ Mezcla de muestras para homogenizar.
- ✓ Filtrado de aceite para retirar solidos presentes en la muestra.
- ✓ Pre calentado de Bioreactor para llegar a una temperatura de 55-60 °C.
- ✓ Se retira 10-15 gr de muestra de aceite para determinar índice de acidez.
- ✓ Se determina la cantidad de metanol a utilizar. Normalmente se trabaja al 20-15% porque es el punto óptimo de reacción.
- ✓ Calentamos el aceite a 55°C.
- ✓ Agregamos el Metóxido (Mezcla de metanol y NaOH).
- ✓ Se mantendrá en agitación durante 2 horas a 55-60°C aprox.(Si pasa los 60°C el alcohol se evapora, P. Ebullición metanol: 60°C)
- ✓ Al finalizar las 2 horas, se deja reposar por 24 horas. (Para separar la glicerina del biodiesel).
- ✓ Se pesa la glicerina y el biodiesel para determinar el rendimiento.
- ✓ Se lava el biodiesel con el 20% de agua. Se repite 3 veces.

LAVADO (AGUA) = Peso biodiesel (20%)

- ✓ Se separa del agua.
- ✓ Se seca al 90°C.

Determinación del Índice de Acidez

- 5 gr de aceite se disuelve en 50 gr de alcohol neutro.
- Agregar 3 gotas de fenolftaleína.
- Titular con hidróxido de potasio 0.1N (KOH).
- Se anota el gasto

Formula:

$$I.A = \frac{\text{Gasto}(KOH) \times \text{Normalidad} \times P.M(KOH)}{\text{Gramos de Muestra para titular}}$$

$$I.A = \frac{\text{mg KOH}}{\text{gr aceite}}$$

NOTA:

- Para el caso de NaOH, al índice de acidez se suma 3.5

DATOS INICIALES:

Aceite Usado (Lts) : **54**
Aceite Usado (Kg) : **48.08**
Peso del Metanol (Kg) : 48.08 (0.20)=**7.212**
Peso NaOH : 197.96
Indice de Acidez : **0.60**

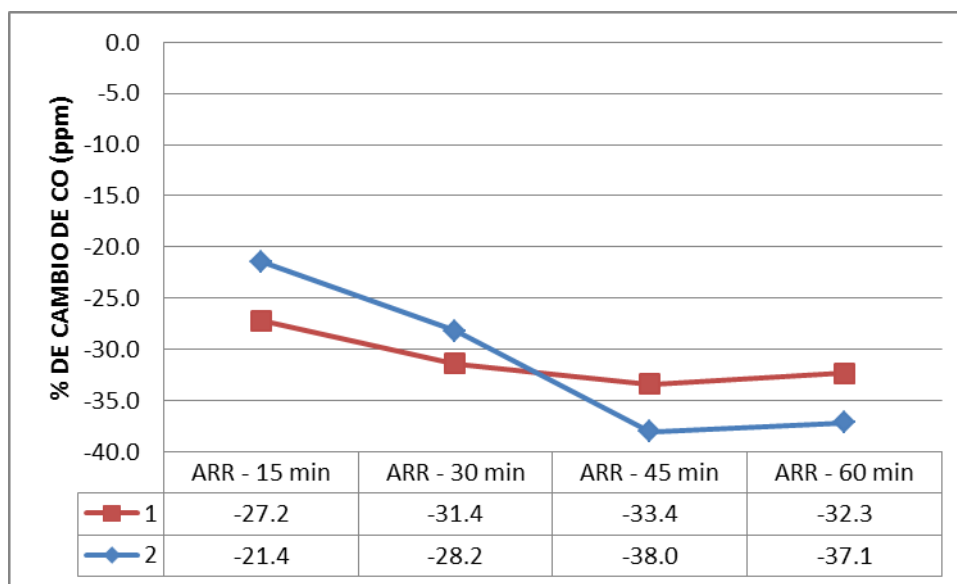
DATOS FINALES:

Biodiesel : 48.385
Glicerina (Kg) : 1.93

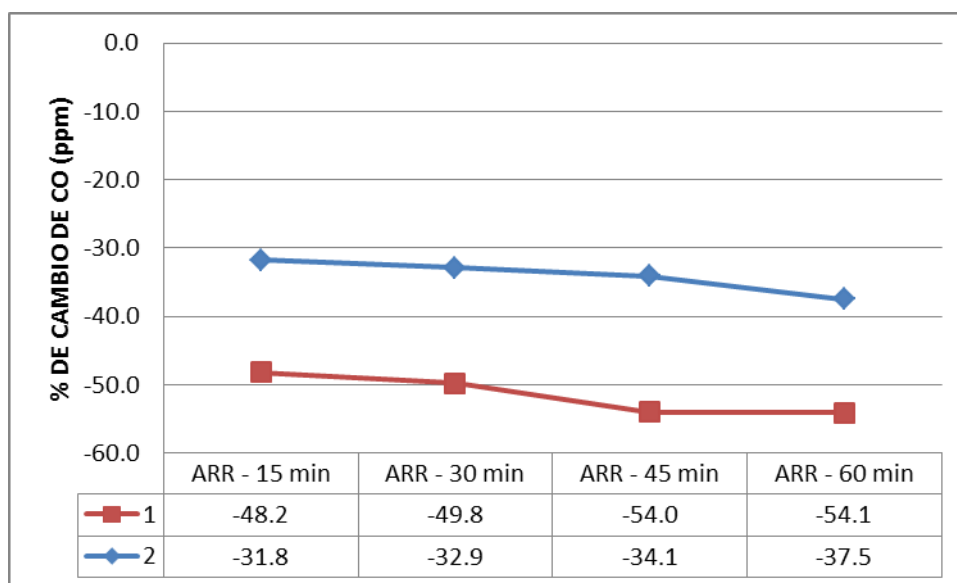
Rendimiento:

Biodiesel (%) : 96.16
Glicerina (%) : 3.84

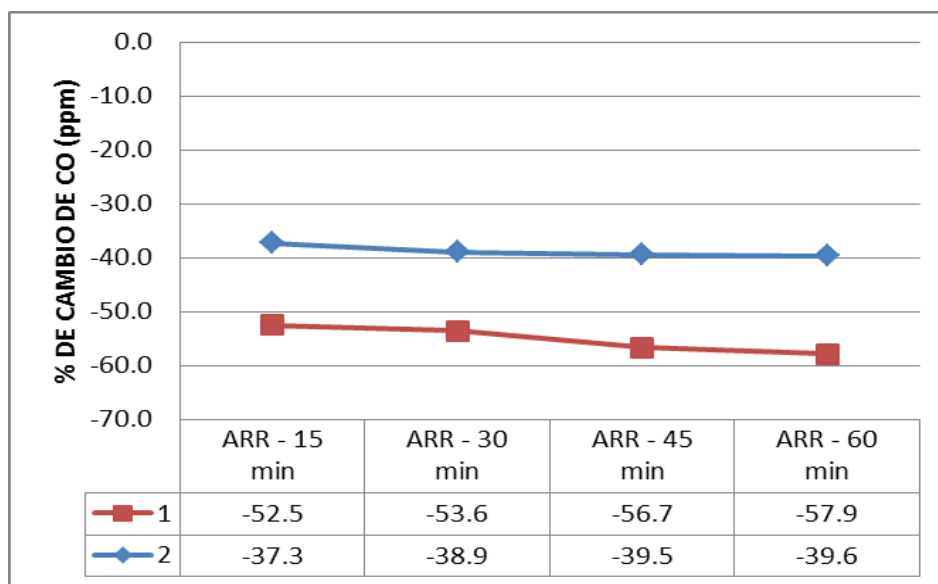
ANEXO 2: Tendencia del CO en el primer y segundo nivel de aceleración del B5.



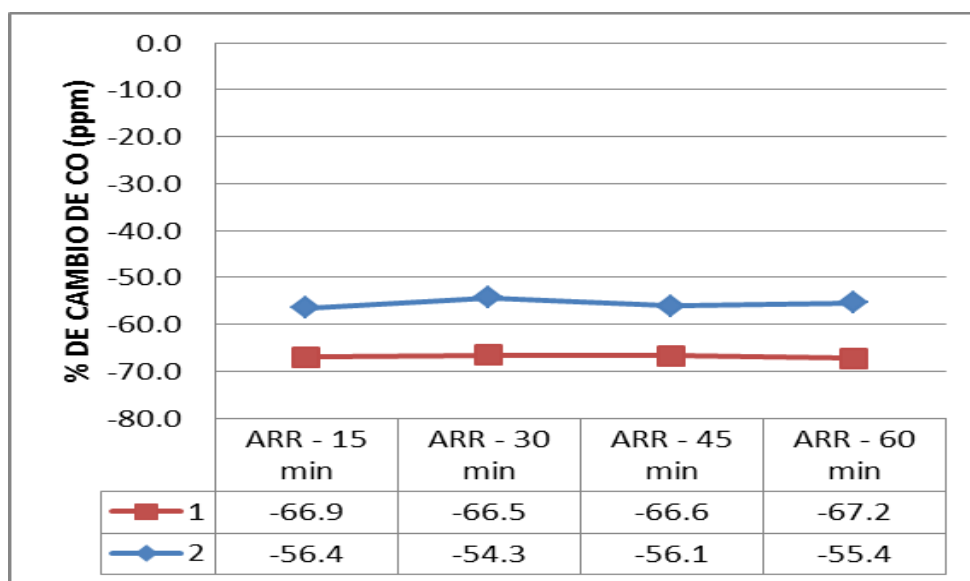
ANEXO 3: Tendencia del CO en el primer y segundo nivel de aceleración del B25.



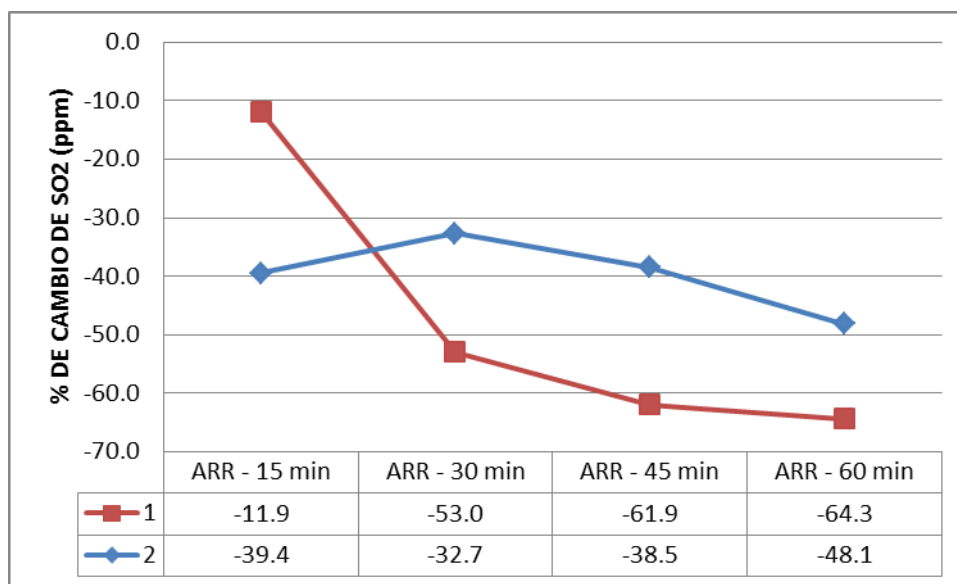
ANEXO 4: Tendencia del CO en el primer y segundo nivel de aceleración del B50.



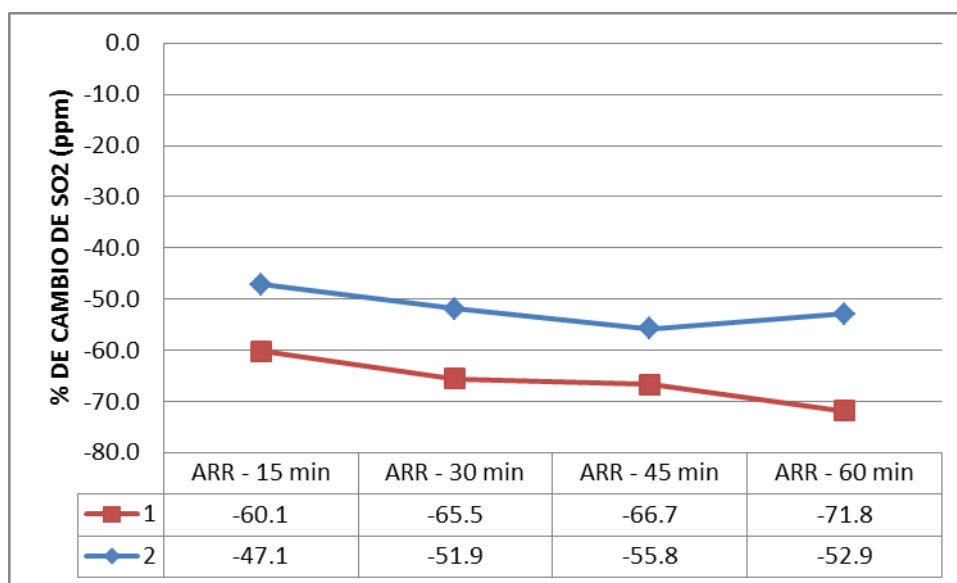
ANEXO 5: Tendencia del CO en el primer y segundo nivel de aceleración del B100.



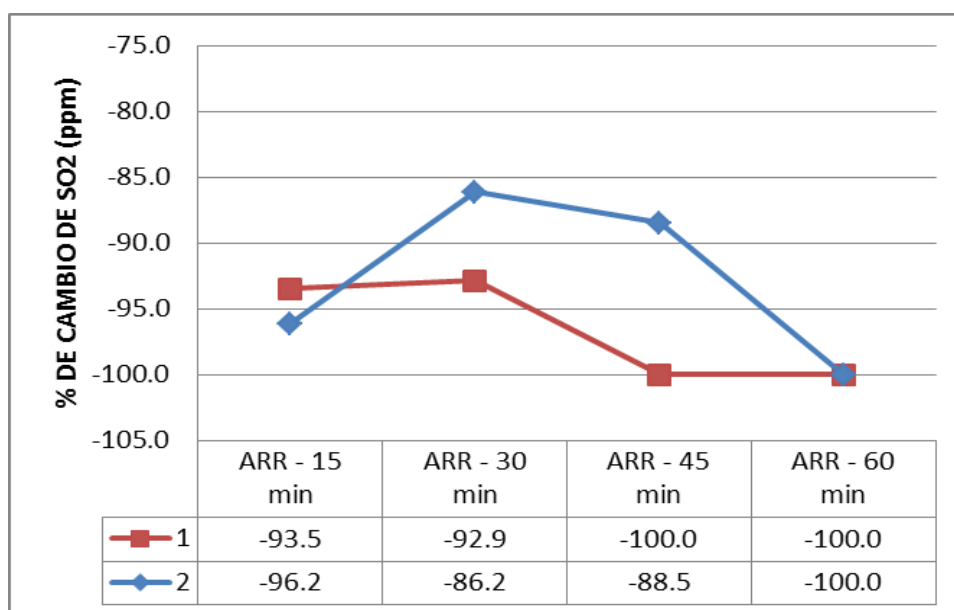
ANEXO 6: Tendencia del SO₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B5.



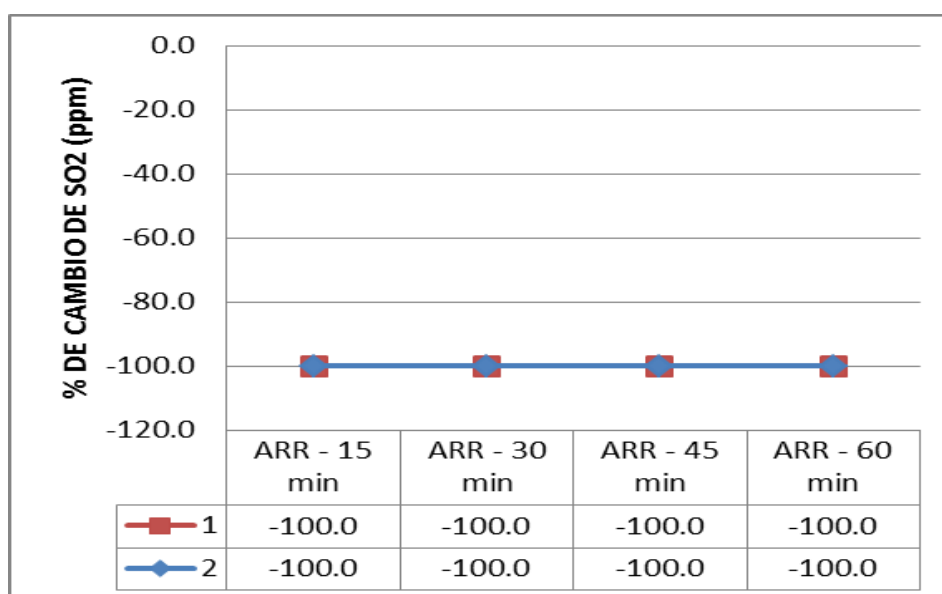
ANEXO 7: Tendencia del SO₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B25.



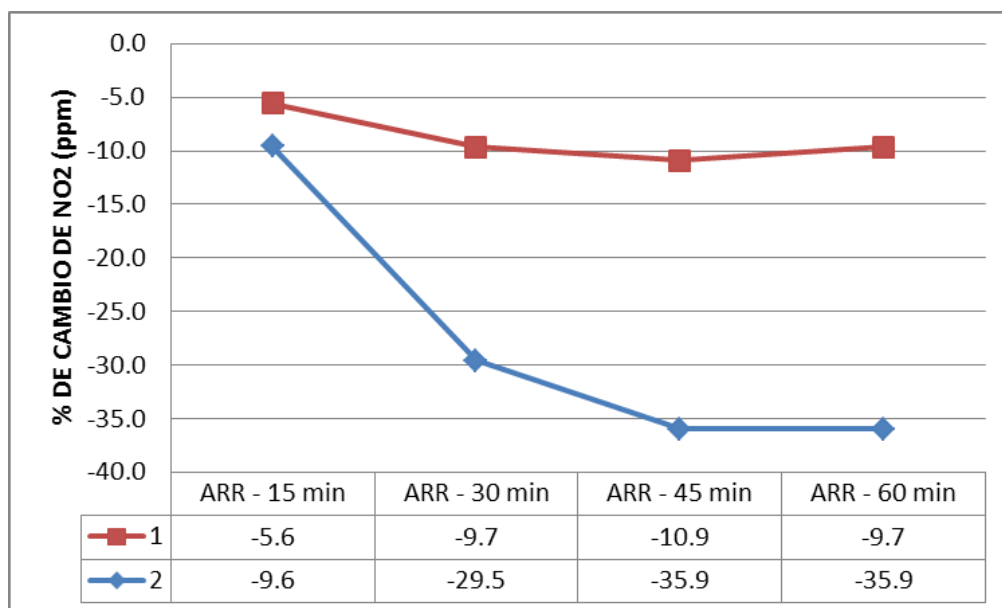
ANEXO 8: Tendencia del SO₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B50.



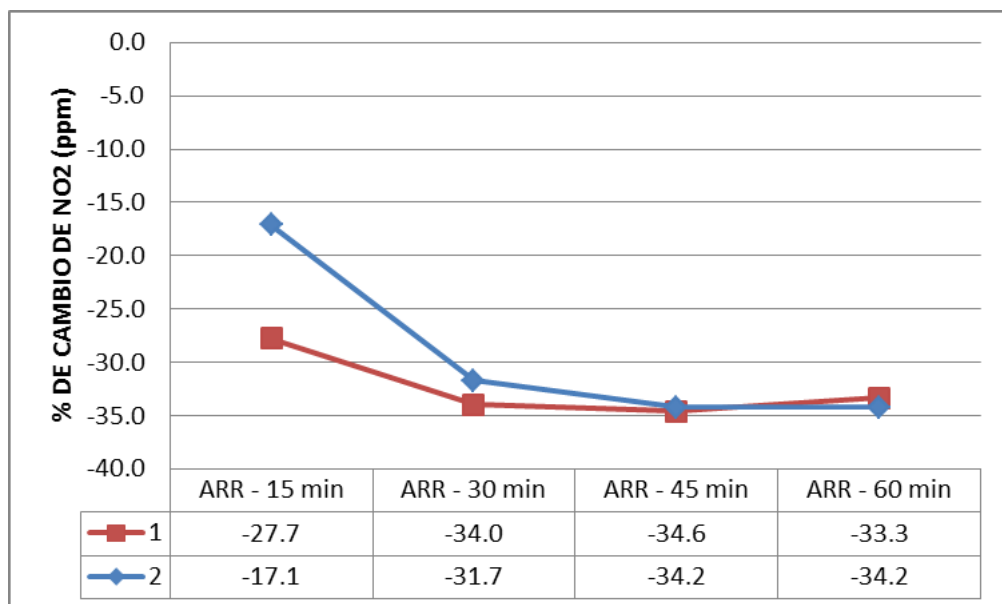
ANEXO 9: Tendencia del SO₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B100.



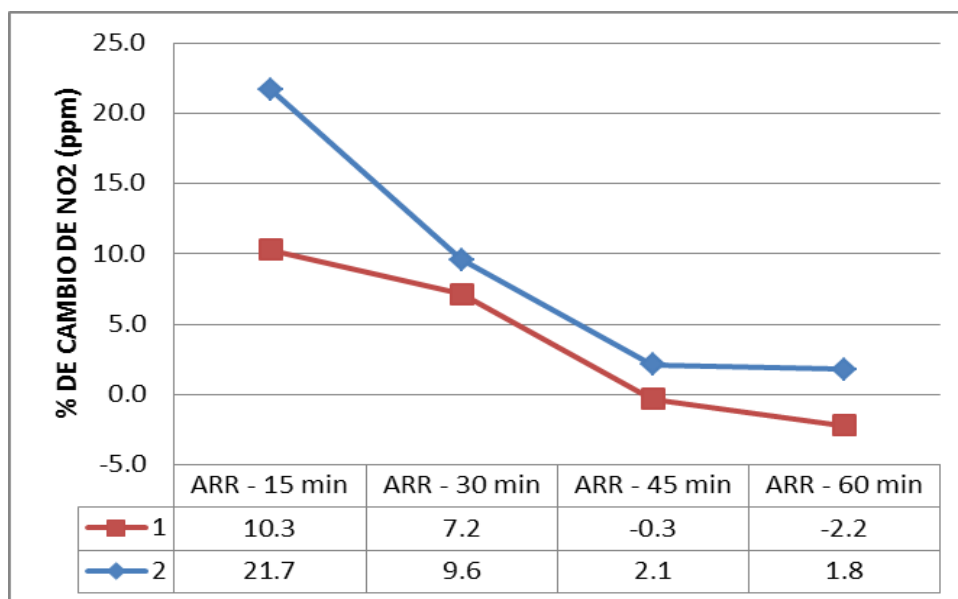
ANEXO 10: Tendencia del NO₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B5.



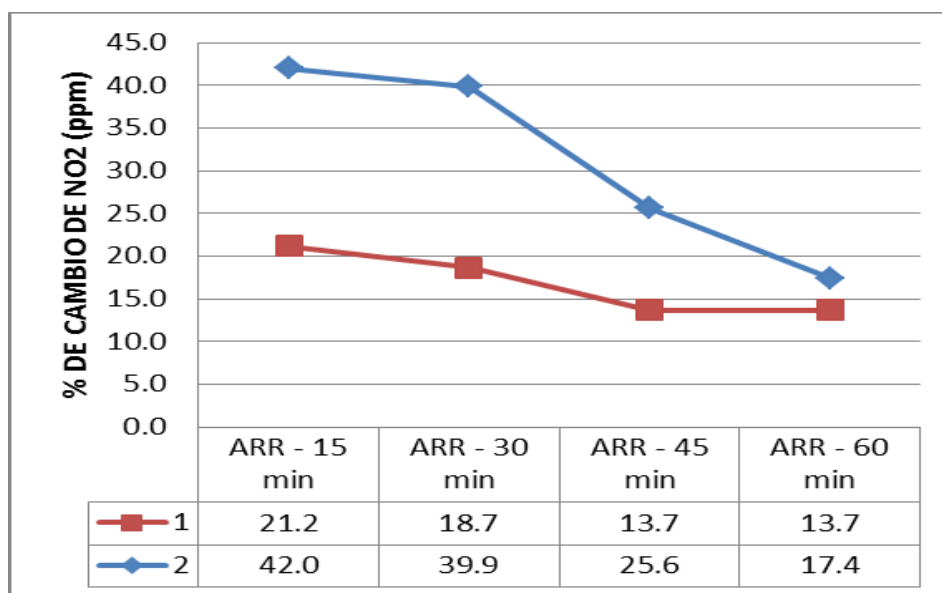
ANEXO 11: Tendencia del NO₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B25.



ANEXO 12: Tendencia del NO₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B50.



ANEXO 13: Tendencia del NO₂ en el primer y segundo nivel de aceleración del B100.



ANEXO 14: Cuadro Resumen



FUENTE:Elaboración propia, 2012.



ANEXO 15:

ENCUESTAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN - TARAPOTO
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL
FACULAD DE ECOLOGÍA

| Cuestionario sobre el uso del biodiesel | Respuestas | | | |
|--|------------|----|--------|-------|
| | SI | NO | TALVEZ | NS/NO |
| 1. ¿Se considera una persona ambientalmente responsable? | 10 | 5 | 3 | 2 |
| 2. ¿Conoce Ud. Que es el biodiesel? | 5 | 10 | 5 | 0 |
| 3. ¿Le habían hablado antes del biodiesel? | 8 | 10 | 2 | 0 |
| 4. ¿Conoce las ventajas que tiene el uso del biodiesel? | 2 | 15 | 3 | 0 |
| 5. ¿Conoce las materias primas para la elaboración del biodiesel? | 0 | 20 | 0 | 0 |
| 6. ¿Sabe Ud. Que gases emite su vehículo al usar diesel? | 10 | 1 | 8 | 1 |
| 7. ¿Sabe Ud. Que el diesel que usa su vehículo contiene un porcentaje de biodiesel? | 8 | 7 | 5 | 0 |
| 8. ¿Conoce cual es la relación consumo/tiempo del combustible de su vehículo? | 17 | 0 | 2 | 1 |
| 9. ¿Estaría dispuesto a usar combustible con una mayor concentración de biodiesel conociendo sus ventajas? | 18 | 1 | 1 | 0 |
| 10. ¿Considera que el biodiesel es una alternativa sustentable para el uso del diesel? | 18 | 0 | 2 | 0 |

La encuesta se realizó a un total de 20 personas de la ciudad de Moyobamba, la cuales son conductores de autos en su mayoría y que trabajan en el transporte de pasajeros a diferentes destinos de la región.

ANEXO 16:

PANEL FOTOGRAFICO



Foto 01:
Muestra de aceite de cocina



Foto 02:
Filtrado de aceite de cocina



Foto 03:

Agregando Metoxido a la muestra de aceite de cocina usado.



Foto 04:

Separando la glicerina del biodiesel.



Foto 05:
Producto final: Biodiesel



Foto 06:
Lavado de biodiesel con agua.



Foto 07:

Mezclas de biodiesel: B-100, B-50, B-25, B-5.



Foto 08:

Motor utilizado para realizar las pruebas de gases.



Foto 09:
Realizando el muestreo de los gases con las
diferentes mezclas.



Foto 10:
Realizando el mantenimiento del Motor,
después de cada prueba.